

# PRV

PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET  
Patentavdelningen

PCT/

10/539587  
SE 2003 / 001937

REC'D 12 MAR 2004

WIPO

PCT

## Intyg Certificate

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.



(71) Sökande Arcam AB, Mölndal SE  
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0203765-3  
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2002-12-19  
Date of filing

Stockholm, 2004-03-08

För Patent- och registreringsverket  
For the Patent- and Registration Office

*Marita Öun*  
Marita Öun

Avgift  
Fee 170:-

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

PATENT- OCH  
REGISTRERINGSVERKET  
SWEDEN

Postadress/Adress  
Box 5055  
S-102 42 STOCKHOLM

Telefon/Phone  
+46 8 782 25 00  
Vx 08-782 25 00

Telex  
17978  
PATOREG S

Telefax  
+46 8 666 02 86  
08-666 02 86

BEST AVAILABLE COPY

## TITEL

Anordning samt metod för framställande av en tredimensionell produkt.

## TEKNISKT OMRÅDE

- 5 Uppfinningen avser en anordning och en metod för framställning av en tredimensionell produkt genom successiv sammansmältning av utvalda delar av på ett arbetsbord pålagda pulverlager.

## TEKNIKENS STÄNDPUNKT

- 10 Genom exempelvis US 4863538 är förut känd en anordning för framställande av en tredimensionell produkt genom successiv sammansmältning av utvalda delar av på ett arbetsbord pålagda pulverlager. Anordningen innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på
- 15 arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken
- 20 information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad. Genom sammansmältning av utvalda delar av successiva pålagda pulverlager byggs den tredimensionella produkten upp. Styrdatorn är ämnad att styra avläkningsorgan för den av strålskanonen genererade strålen över pulverbädden enligt ett körschema vilket avbildar ett förutbestämt mönster.
- 25 När körschemat sammansmält önskat område hos ett pulverlager har ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp bildats. En tredimensionell produkt bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av pulverdispensern successivt pålagda pulverskikt.
- 30 Genom SE 0001557-8 är förut känt en anordning för framställande av en tredimensionell produkt där uppmätning av ytstrukturen och yttemperaturen hos den producerade tredimensionella kroppen medges under

tillverkningsförfarandet. Genom att nyttja den däri beskrivna anordningen möjliggörs ökad överensstämmelse av formen hos de producerade tredimensionella kropparna i förhållande till avsedd form. I

5 tillverkningsprocessen av de tredimensionella produkterna har det dock visat sig att ytspänningar hos den tillverkade produkten ger upphov till formavvikelse samt inre spänningar i produkten vilka kan ge upphov till initiering av sprickbildning.

# KORT BESKRIVNING AV UPPFINNINGEN

10

Ett ändamål med uppfinningen är att tillhandahålla en metod för framställning av tredimensionella kroppar där reduktion av förekomsten av ytspänningar och därigenom inducerade formavvikelse samt förekomsten av inre spänningar i slutprodukten möjliggörs. Detta ändamål uppnås genom en anordning enligt den kännetecknande delen av patentkravet 1.

15

Genom att i en metod för framställning av tredimensionella kroppar indela det mot ett tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen motsvarande utvalt område hos en pulverbädd i en mängd mindre delområden vilka utgörs av ett inre område och en rand möjliggörs tillhandahållande av körscheman där energitillförseln kan ske på ett fördelaktigt sätt för att tillse att

20

arbetstemperaturen vid det översta lagret hos den kropp som skall tillverkas kan hållas inom ett acceptabelt temperaturintervall. Möjligheten att hålla arbetsytan inom ett snävt temperaturintervall medför att ytspänningar hos den tillverkade produkten kan reduceras. Ytspänningar ger upphov till formavvikelse samt inre spänningar i produkten vilka kan ge upphov till initiering av sprickbildning.

25

Företrädesvis bearbetas ett inre område i ett processteg vilket är separat från bearbetningen av den rand som omger det inre området. Med separat processteg avses att randen antingen färdigställs före eller efter det inre området.

30

Enligt en första föredragen utföringsform av uppfinningen i ett första processteg sammansmälta det inre området hos en uppsättning angränsande delområden, och därefter sammansmälta de ränder som förbinder nämnda delområden i ett andra efterföljande processteg erhålles

5 efter tillverkningen en tredimensionell kropp vilken uppvisar en lägre grad av inre spänningar än i det fall det utvalda området sammansmälts genom ett linjärt svepningsmönster längs hela det utvalda områdets yta. Detta beror på att två närliggande områden, vilka formats till en fast kropp, är fritt rörliga tills

10 det att sammanfogningen av dessa två närliggande områden sker genom sammansmältning av det material som bildar den gemensamma gränslinjen. Sammanfogningen sker sålunda i ett spänningsfritt tillstånd.

Enligt en andra utföringsform fastställs turordningen för bearbetning av de mindre delområdena vilka utgör ett utvalt tvärsnitt med hjälp av en

15 slumpgenerator. Genom denna process tillses att uppvärmningen av hela den yta som skall bearbetas sker på ett relativt homogent sätt till skillnad från om en planerlig planering av sammansmältning av närliggande områden i tät följd konsekutivt efter varandra sker. Denna metod är särskilt fördelaktig i det fall att det utvalda området är indelat i ett mycket stort antal mindre

20 delområden, företrädesvis fler än 100 eller 1000. Slumpprocessen kan även innehålla ett intelligent urval där områden som är närliggande till ett nyss uppvärmt område ges mindre sannolikhet att bli dragna som nästa område. En i metoden nyttjad värmekamera kan vara anordnad att uppmäta

25 temperaturen hos alla ingående områden och därefter ansätta sannolikheter i beroende av temperaturen hos varje mindre område. Om N områden utnyttjas och bäddtemperaturen varierar från  $T_0$ , vilket motsvarar den opåverkade bäddtemperaturen, till  $T_s$ , vilket motsvarar temperaturen hos ett nyss smält område ansätts företrädesvis sannolikheten till att ett område skall väljas till  $P(i) = \frac{T_s - T_i}{\sum (T_s - T_n)}$ . Ett nyss smält område skall då ges

30 sannolikheten 0 att åter bli uppvärmd. Sannolikheten för alla kalla områden är lika stora och sannolikheten att ett område utväljs till att bli nästkommande

område för bearbetning är linjärt beroende av temperaturen i förhållande till smälttemperaturen.

- Enligt en tredje utföringsform, vilken med fördel kan nyttjas i det fall att en
- 5 lägre grad av homogenitet krävs för delar av kroppens inre kan istället ränderna sammansmältas i ett första processteg för ett antal konsekutiva pulverlager varefter de inre områdena för nämnda konsekutiva pulverlager sammansmälts i ett gemensamt andra processteg för nämnda konsekutiva pulverlager. Genom detta förfarande erhålles en kropp med en slät yttre yta
- 10 och inre skott motsvarande de inre ränderna där de inre skotten uppvisar hög grad av soliditet. De mellanliggande inre områdena uppvisar en lägre grad av sammansmältning varvid en viss porositet kan erhållas. Eftersom produkten i detta fall med fördel inte blir helt homogen minskas risken för uppkomst av inre spänningar då en viss förmåga till förflyttning i den inre porösa strukturen
- 15 medger att inre spänningar dämpas.

- Enligt en fjärde utföringsform av uppfinningen sammansmälts det inre området under ett rörelsemönster för fokalpunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda
- 20 huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen uppvisar ett tidsmedelvärde motsvarande en nollavdrift från den huvudsakliga rörelseriktningen. Den huvudsakliga rörelseriktningen uppvisar en propageringshastighet vilken företrädesvis motsvarar
- 25 utbredningshastigheten för en smältzon hos ett bearbetat material. Den huvudsakliga rörelseriktningen kan uppvisa valfri kurvform, exempelvis rätlinjig, bågformad, cirkelformad. Utseendet på den huvudsakliga rörelseriktningen är anpassad till formen på det objekt som skall skapas. Störtermen är dock inte anpassad till formen på objektet utan utformas för att
- 30 tillhandahålla en gynnsammare lokal värmefördelning vid ett område kringfokalpunkten. Genom strålens rörelsemönster tillses sålunda att strålskanonens energi tillförs med en jämnare intensitet till pulverlagret, varvid

- risken för överhettning reduceras. Detta minskar i sin tur risken för uppkoms  
av formavvikelse och spänningar i slutprodukten. Randen sammansmälts  
enligt en föredragen utföringsform under en huvudsakligen rätlinjig rörelse,  
vilken följer randens form, hos strålskanonens stråle. Genom att randen  
5 sammansmälts under en rörelse som följer randens form tillses att den  
färdigbildade kroppens mantelyta blir slät.

- Enligt en ytterligare föredragen utföringsform av uppfinningen beräknas en  
energijämnvikt för varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs  
10 huruvida inmatad energi till pulverlagret vid nämnda tillförande av energi från  
en strålskanon enligt ett för pulverlagret fastställt körschema för  
sammansmältning av det enligt nämnda körschema utvalda område av  
pulverlagret är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos  
nästkommande lagerinnehåll information som möjliggör upprätthållande av  
15 en bestämd arbetstemperatur. Genom att upprätthålla en bestämd  
arbetstemperatur, dvs en ytemperatur inom ett givet bestämt  
temperaturintervall under produktionen av samtliga lager tillses att  
förekomsten av ytspänningar som uppkommer vid för stark nedkylning av den  
tredimensionella kroppen reduceras. Detta medför i sin tur att slutprodukten  
20 uppvisar en reducerad förekomst av formavvikelse samt en reducerad  
förekomst av inre spänningar i slutprodukten.

- Ett andra ändamål med uppfinningen är att tillhandahålla en anordning för  
framställning av tredimensionella kroppar där reduktion av förekomsten av  
25 ytspänningar och därigenom inducerade formavvikelse samt förekomsten av  
inre spänningar i slutprodukten möjliggörs. Detta ändamål uppnås genom en  
anordning enligt den kännetecknande delen av patentkravet 11.

- Enligt en första föredragen utföringsform av uppfinningen är strålskanonen  
30 anordnad att i ett första processteg sammansmälta det inre området hos en  
uppsättning angränsande delområden, och därefter sammansmälta de  
ränder som förbinder nämnda delområden i ett andra efterföljande

- processteg erhålles efter tillverkningen en tredimensionell kropp vilken uppvisar en lägre grad av inre spänningar än i det fall det utvalda området sammansmälts genom ett linjärt svepningsmönster längs hela det utvalda områdets yta. Detta beror på att två närliggande områden, vilka formats till en fast kropp, är fritt rörliga tills det att sammanfogningen av dessa två närliggande områden sker genom sammansmältning av det material som bildar den gemensamma gränslinjen. Sammanfogningen sker sålunda i ett spänningsfritt tillstånd.
- 5
- 10 Enligt en andra utföringsform en slumpgenerator anordnad att fastställa turordningen för bearbetning av de mindre delområdena vilka utgör ett utvalt tvärsnitt med hjälp av. Genom denna process tillses att uppvärmningen av hela den yta som skall bearbetas sker på ett relativt homogent sätt till skillnad från om en planerlig planering av sammansmältning av närliggande
- 15 områden i tät följd konsekutivt efter varandra sker. Denna metod är särskilt fördelaktig i det fall att det utvalda området är indelat i ett mycket stort antal mindre delområden, företrädesvis fler än 100 eller 1000. Slumpprocessen kan även innehålla ett intelligent urval där områden som är närliggande till ett nyss uppvärmt område ges mindre sannolikhet att bli dragna som nästa
- 20 område. En i metoden nyttjad värmekamera kan vara anordnad att uppmäta temperaturen hos alla ingående områden och därefter ansätta sannolikheter i beroende av temperaturen hos varje mindre område. Om N områden utnyttjas och bäddtemperaturen varierar från  $T_0$ , vilket motsvarar den opåverkade bäddtemperaturen, till  $T_s$ , vilket motsvarar temperaturen hos ett
- 25 nyss smält område ansätts företrädesvis sannolikheten till att ett område skall väljas till  $P(i) = \frac{T_s - T_i}{\sum (T_s - T_n)}$ . Ett nyss smält område skall då ges sannolikheten 0 att åter bli uppvärmd. Sannolikheten för alla kalla områden är lika stora och sannolikheten att ett område utväljs till att bli
- 30 nästkommande område för bearbetning är linjärt beroende av temperaturen i förhållande till smälttemperaturen.

- Enligt en tredje utföringsform, vilken med fördel kan nyttjas i det fall att en lägre grad av homogenitet krävs för delar av kroppens inre, är strålskanonen anordnad att sammansmälta ränderna i ett första processteg för ett antal konsekutiva pulverlager varefter de inre områdena för nämnda konsekutiva
- 5 pulverlager sammansmälts i ett gemensamt andra processteg för nämnda konsekutiva pulverlager. Genom detta förfarande erhålles en kropp med en slät yttre yta och inre skott motsvarande de inre ränderna där de inre skotten uppvisar hög grad av soliditet. De mellanliggande inre områdena uppvisar en lägre grad av sammansmältning varvid en viss porositet kan erhållas.
- 10 Eftersom produkten i detta fall med fördel inte blir helt homogen minskas risken för uppkomst av inre spänningar då en viss förmåga till förflyttning i den inre porösa strukturen medger att inre spänningar dämpas.
- Enligt en fjärde utföringsform av uppfinningen är körschemat anordnat att
- 15 tillhandahålla ett rörelsemönster för fokalpunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen uppvisar ett tidsmedelvärde motsvarande en nollavdrift från den
- 20 huvudsakliga rörelseriktningen. Den huvudsakliga rörelseriktningen uppvisar en propageringshastighet vilken företrädesvis motsvarar utbredningshastigheten för en smältzon hos ett bearbetat material. Den huvudsakliga rörelseriktningen kan uppvisa valfri kurvform, exempelvis rätlinjig, bågformad, cirkelformad. Utseendet på den huvudsakliga
- 25 rörelseriktningen är anpassad till formen på det objekt som skall skapas. Störtermen är dock inte anpassad till formen på objektet utan utformas för att tillhandahålla en gynnsammare lokal värmefördelning vid ett område kringfokalpunkten. Genom strålens rörelsemönster tillses sålunda att strålskanonens energi tillförs med en jämnare intensitet till pulverlagret, varvid
- 30 risken för överhettning reduceras. Detta minskar i sin tur risken för uppkomst av formavvikelse och spänningar i slutprodukten. Randen sammansmälts enligt en föredragen utföringsform under en huvudsakligen rätlinjig rörelse,



vilken följer randens form, hos strålskanonens stråle. Genom att randen sammansmälts under en rörelse som följer randens form tillses att den färdigbildade kroppens mantelyta blir slät.

- 5 I en föredragen utföringsform av uppfinningen är den i anordningen ingående styrdatoren anordnad att beräkna en energijämnvikt för varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida inmatad energi till pulverlagret vid nämnda tillförande av energi från en strålskanon enligt ett för pulverlagret fastställt körschema för sammansmältning av det enligt nämnda
- 10 körschema utvalda område av pulverlagret är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos nästkommande lager inhämtas information som möjliggör upprätthållande av en bestämd arbetstemperatur. Genom att upprätthålla en bestämd arbetstemperatur, dvs en ytemperatur inom ett givet bestämt temperaturintervall under produktionen av samtliga lager tillses att
- 15 förekomsten ytspänningar som uppkommer vid för stark nedkylning av den tredimensionella kroppen reduceras. Detta medför i sin tur att slutprodukten uppvisar en reducerad förekomst av formavvikelser samt en reducerad förekomst av inre spänningar i slutprodukten.

## 20 FIGURBESKRIVNING

Uppfinningen kommer nedan att närmare beskrivas i anslutning till bifogade ritningsfigurer, där:

fig. 1 visar en genomskärning av en anordning enligt uppfinningen,

25

fig. 2 visar ett område som skall sammansmältas vilket uppvisar ett inre område och en rand,

fig. 3 visar en vidare indelning av det område som skall sammansmältas i en uppsättning avskilda områden, var och en uppvisande inre områden och ränder,

30



- fig. 4 visar schematiskt ett exempel på hur ett antal angränsande inre områden bearbetas i ett första processteg varefter till nämnda angränsande delområden tillhörande ränder sammansmälts i ett andra efterföljande processteg,
- 5
- fig. 5 visar ett utvalt område vilket är indelat i ett mycket stort antal inre områden i ett rutmönster.
- fig. 6 visar ett antal konsekutiva pulverlager där ränderna sammansmälts i ett med mellanliggande ny pulverpåläggning varefter de inre områdena för flera pulverlager bearbetas i ett gemensamt efterföljande processteg,
- 10
- fig. 7 visar figur 6 sedd från ovan,
- 15
- fig. 8 visar en uppsättning skilda kurvformer med en endimensionell störterm,
- fig. 9 visar schematiskt hur värmefördelningen ser ut i en kropp där en strålkänns fokuspunkt med diametern D uppvärmt kroppen, dels i närvaro av en störterm, dels i frånvaro av en störterm,
- 20
- fig. 10 visar ett exempel på fokuspunktens rörelse i förhållande till förflyttning av fokuspunkten längs den huvudsakliga rörelseriktningen,
- 25
- fig. 11 visar en uppsättning skilda kurvformer med en tvådimensionell störterm,
- 30
- fig. 12 visar rörelsemönstret för en fokuspunkt enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen,

- fig. 13 visar fokalpunkternas placering samt ett utvidgat område inom vilket sammansmältning sker,
- 5 fig. 14 visar schematiskt en genomskärning av en tredimensionell kropp bildad av ett antal pulverlager samt ett översta pulverlager,
- fig. 15 visar ett urvalt område vilket är indelat i en uppsättning avskilda områden ,
- 10 fig. 16 visar en principmodell för beräkning av energijämnvikt,
- fig. 17 visar en andra principmodell för beräkning av energijämnvikt,
- 15 fig. 18 visar en vy från sidan av en kammare försedd med ett genomsynligt fönster,
- fig. 19 visar en anordning för frammatning och fixering av en skyddsfilm för bibehållande av genomsynlighet hos fönstret,
- 20 fig. 20 schematiskt en metod för framställning av tredimensionella kroppar
- fig. 21 visar ett flödesschema för generering av primärkörscheman,
- 25 fig. 22 visar ett flödesdiagram för ett körschema hos anordningen,
- fig. 23 visar ett flödesdiagram för korrigering av nämnda körschema,
- 30 fig. 24 visar schematiskt ett förfarande innefattande korrigering av körscheman med hjälp av information inhämtad från en kamera vilken uppmäter temperaturfördelningen över pulverbäddens yta,

fig. 25 visar schematiskt ett förfarande för korrigerig av körschewan,

fig. 26 visar en schematisk uppbyggnad av ett tredimensionellt föremål och

5

fig. 27 visar ett antal tvärsnitt ur figur 26.

## UTFÖRINGSEXEMPEL

10

I figur 1 visas en anordning för framställande av en tredimensionell produkt generellt betecknad med 1. Anordningen innefattar ett arbetsbord 2 på vilken en tredimensionell produkt 3 skall uppbyggas, en eller flera pulverdispensrar 4 samt organ 28 vilka är anordnade att lägga ut ett tunt lager av pulver på arbetsbordet 2 för bildande av en pulverbädd 5, en strålskanon 6 för avgivande av energi till pulverbädden varvid sammansmältning av delar av pulverbädden sker, organ för styrning 7 av den av strålskanonen 6 avgivna strålen över nämnda arbetsbord för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av nämnda pulver och en styrdator 8 i vilken information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten. Vid en arbetscykel kommer, enligt den visade föredragna utföringsformen, arbetsbordet att successivt sänkas i förhållande till strålskanonen efter varje pålagt pulverlager. För att möjliggöra denna förflyttning är i en föredragen utföringsform av uppfinningen arbetsbordet förflyttbart anordnat i vertikalled, dvs i den riktning som indikeras av pilen P. Detta innebär att arbetsbordet startar i ett utgångsläge 2' i ett läge där ett första pulverlager av nödvändig tjocklek pålagts. För att inte skada det underliggande arbetsbordet och för att tillhandahålla tillräcklig kvalitet på detta lager gör detta lager tjockare än övriga pålagda lager, varvid genomsmältning av detta första lager undviks. Därefter sänks arbetsbordet i anslutning till att ett nytt pulverlager utläggs för bildandet av ett nytt tvärsnitt



av den tredimensionella produkten. För detta ändamål är i en utföringsform av uppfinningen arbetsbordet uppburet av en ställning 9 vilken innefattar åtminstone en kulskruv 10, försedd med tandning 11. En steg- eller servomotor 12 försedd med ett kugghjul 13 ställer in arbetsbordet 2 i önskat

5 höjdläge. Även andra för fackmannen kända anordningar för inställning av arbetshöjd på ett arbetsbord kan nyttjas. Exempelvis kan ställskruvar utnyttjas i stället för kuggstänger. Enligt en alternativ utföringsform av uppfinningen kan i anordningen ingående organ för pulverutläggning successivt höjas, i stället för att såsom i den ovan beskrivna utföringsformen

10 sänka arbetsbordet.

Organet 28 är anordnat att samverka med nämnda pulverdispensrar för påfyllnad av material. Vidare drivs organets 28 svep över arbetsytan på känt sätt med en servomotor (icke visad), vilken förflyttar organet 28 längs en

15 guideskena 29 vilken löper längs pulverbädden.

Vid påläggning av ett nytt pulverskikt, kommer tjockleken av pulverskiktet att bestämmas av hur mycket arbetsbordet sänkts i förhållande till förra lagret. Detta innebär att lagertjockleken kan varieras efter önskemål. Det är därför

20 möjligt att i då ett tvärsnitt uppvisar stor formförändring mellan näraliggande lager att göra tunnare lager varvid en högre ytfinhet uppnås och då liten eller ingen formförändring förekommer göra lager med för strålen maximal genomträngningstjocklek.

25 I en föredragen utföringsform av uppfinningen utgörs strålskanonen 6 av en elektronkanon varvid organen för styrning 7 av strålskanonens stråle utgörs av avlänkningsspolar 7". Avlänkningsspolen alstrar ett magnetfält vilket styr den av elektronkanonen alstrade strålen varvid smältning av ytlagret hos pulverbädden på önskat ställe kan åstadkommas. Vidare innefattar

30 strålskanonen en högspänningskrets 20 vilken är avsedd att på känt sätt förse strålskanonen med en accelerationsspänning för från en hos strålskanonen anordnad emitterelektrod 21. Emitterelektroden är på känt sätt ansluten till en

strömkälla 22 vilken nyttjas till att upphetta emitterelektroden 21 varvid elektroner frigges. Strålskanonens funktion och komposition är välkänd för en fackman på området.

- 5 Avlänkningsspolen styrs av styrdatorn 8 enligt ett utlagt körschema för varje lager som skall sammansmältas varvid styrning av strålen enligt önskat körschema kan åstadkommas. Detaljer hos körschemats utseende enligt uppfinningen beskrivs nedan i anslutning till beskrivning av figurerna 2- 9.
- 10 Vidare finns åtminstone en fokusspole 7' vilken är anordnad att fokusera strålen på pulverbäddens yta på arbetsbordet. Avlänkningsspolar 7'' och fokusspolar 7' kan anordnas enligt ett flertal för fackmannen välkända alternativ.
- 15 Anordningen är innesluten i ett hölje 15 som innesluter strålskanon 6 och pulverbädd 2. Höljet 15 innefattar en första kammare 23 vilken omsluter pulverbädden och en andra kammare 24 vilken omsluter strålskanonen 6. Den första kammaren 23 och den andra kammaren 24 kommunicerar med varandra via en kanal 25, vilken medger att emitterade elektroner, vilka
- 20 accelererats i högspänningsfältet i den andra kammaren kan fortsätta in i den första kammaren för att senare träffa pulverbädden på arbetsbordet 2.

I en föredragen utföringsform är den första kammaren ansluten till en vakuumpump 26 vilken sänker trycket i den första kammaren 23 till ett tryck av företrädesvis ca.  $10^{-3} - 10^{-5}$  mBar. Den andra kammaren 24 är företrädesvis ansluten till en vakuumpump 27 vilken sänker trycket i den andra kammaren 24 till ett tryck av ca.  $10^{-4} - 10^{-6}$  mBar. I en alternativ utföringsform kan både den första och den andra kamrarna vara anslutna till samma vakuumpump.

30

Styrdatorn 8 är vidare företrädesvis ansluten till strålskanonen 6 för reglering av avgiven effekt hos strålskanonen samt ansluten till stegmotorn 12 för

inställning av arbetsbordets höjdläge 2 mellan varje konsekutiv påläggning av pulverlager, varvid pulverlagrens individuella tjocklek kan varieras.

- 5 Vidare är styrdatorn ansluten till nämnda organ 28 för pulverutläggning på arbetsytan. Detta organ är anordnat att svepa över arbetsytan varvid ett lager pulver utlägges. Organet 28 drivs av en servomotor (icke visad) vilken styrs av nämnda styrdator 8. Styrdators styr svepets längs samt tillser att pulver påfylls vid behov. För den skull kan lastgivare vara anordnade i organet 28 varvid styrdatorn kan inhämta information om att organet är tomt eller har
- 10 fastnat.

- Styrdatorn 8 är vidare enligt en föredragen utföringsform uppfinningen anordnad att beräkna en energijämnvikt för det utvalda området som skall bearbetas inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida
- 15 instrålad energi till det utvalda området från det utvalda områdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos det utvalda området.

- I figur 2 visas schematiskt ett område 35 som skall sammansmältas.
- 20 Området innefattar ett inre område I vilket avgränsas av en rand R. Enligt uppfinningen är körschemat så utformat att det område som skall sammansmältas, dvs det utvalda området, indelas i ett eller flera inre områden I, var och en uppvisande en rand R. Företrädesvis bearbetas ett inre område i ett processteg vilket är separat från bearbetningen av den rand
- 25 som omger det inre området. Med separat processteg avses att randen antingen färdigställs före eller efter det inre området.

- I figur 3 visas schematiskt ett område 35 som skall sammansmältas. Detta område är indelat i ett flertal delområden 80 – 91, vilka var och en uppvisar
- 30 ett inre område och en rand. Enligt en första föredragen utföringsform av uppfinningen sammansmälts det inre området I hos en uppsättning angränsande delområden i ett första processteg, varefter nämnda ränder R

sammansmälts och förbinder nämnda delområden i ett andra efterföljande processteg. Genom detta förfarande minskas förekomsten av böjspänningar i den tredimensionella kroppen efter avsvälning.

- 5 I figur 4 visas schematiskt ett exempel på hur ett antal angränsande inre områden bearbetas i ett första processteg omfattande sammansmältning av det inre området 86, vilket genomförts med ett första körschemat 1'. Det visade körschemat 1' innefattar en delvis överlappande spiralformad rörelse enligt vad som kommer beskrivas närmare nedan. Därefter sammansmälts
- 10 det inre området 81 enligt ett andra körschema 2'. Vidare sammansmälts det inre området 80 enligt ett tredje körschema 3'. Slutligen sammansmälts det inre området 88 enligt ett fjärde körschema 4'. Härigenom har en uppsättning angränsande delområden sammansmälts i ett första processteg. Därefter sammansmälts de ränder som omger de angränsande delområdena 80,81,
- 15 86,88. Detta sker enligt ett femte 5' körschema vilket innefattar sammansmältning av den yttre randen och ett sjätte körschema 6' innefattande inre ränderna som avgränsar delområden från varandra

- Enligt en andra föredragen utföringsform är körschemat anordnat att
- 20 fastställa turordningen för bearbetning av nämnda mängd mindre delområden med hjälp av en slumpgenerator. Styrdatoren 8 innefattar för detta ändamål en slumpgenerator S. Denna metod är särskilt fördelaktig i det fall att det utvalda området är indelat i ett mycket stort antal mindre delområden, företrädesvis fler än 100 eller 1000. Ett exempel en sådan indelning finns
- 25 visad i figur 5 där ett utvalt område 35 är indelat i ett mycket stort antal inre områden i ett rutmönster. En slumpad turordning visar hur en följd av områden 1" – 6" bearbetats konsekutivt.

- Slumpprocessen kan även enligt en föredragen utföringsform innehålla ett
- 30 intelligent urval där områden som är närliggande till ett nyss uppvärmt område ges mindre sannolikhet att bli dragna som nästa område. En i metoden nyttjad värmekamera kan vara anordnad att uppmäta temperaturen



hos alla ingående områden och därefter ansätta sannolikheter i beroende av temperaturen hos varje mindre område. Om N områden utnyttjas och bäddtemperaturen varierar från  $T_0$ , vilket motsvarar den opåverkade bäddtemperaturen, till  $T_s$ , vilket motsvarar temperaturen hos ett nyss smält område ansätts företrädesvis sannolikheten till att ett område skall väljas till  $P(i) = \frac{T_s - T_i}{\sum (T_s - T_n)}$ . Ett nyss smält område skall då ges sannolikheten 0 att åter bli uppvärmd. Sannolikheten för alla kalla områden är lika stora och sannolikheten att ett område utväljs till att bli nästkommande område för bearbetning är linjärt beroende av temperaturen i förhållande till smälttemperaturen. I stället för att använda en värmekamera kan sannolikheten vara logiskt styrd och för ett val av en punkt öka med avståndet från en nyss vald punkt. Företrädesvis anordnas sannolikhetsberäkningen på grundval av information från värmeledningsekvationen. När ett mycket stort antal delområden sammansmälts så blir kalkylen för ansättande av sannolikheter komplicerad. Av denna orsak är det fördelaktigt att nyttja sig av den ovan beskrivna värmekameran.

I en alternativ utföringsform kan ränderna sammansmältas i ett första processteg och de inre områdena i ett efterföljande processteg. Detta kan vara fördelaktigt när mycket tunna pulverlager utläggs varvid en solid mantelyta skapas, eventuellt med ett antal inre stadgande skott. De inre områdena kan därefter sammansmältas i ett senare processteg där flera pulverlager sammansmälts i ett gemensamt svep med strålskanonen över flera lager. Detta medför att de inre områdena blir lätt sintrade, vilket kan vara fördelaktigt för vissa produkter. Enligt denna tredje utföringsform av uppfinningen sammansmälts ränder i ett första processteg för ett antal konsekutiva pulverlager varefter de inre områdena för nämnda konsekutiva pulverlager sammansmälts i ett gemensamt andra processteg för nämnda konsekutiva pulverlager. Detta visas schematiskt i figurena 6 och 7.

Figur 6 visar ett antal konsekutiva lager  $i$ ,  $i - 1$ ,  $i - 2$  där ränderna 1", 2", 3" sammansmälts med mellanliggande ny pulverpåläggning. Därefter har de inre områdena I (fig. 7) sammansmälts i ett processteg gemensamt för flera lager  $i$ ,  $i - 1$ ,  $i - 2$ . Eftersom ett tjockare lager är pålagt lämpar sig denna metod särskilt för bildande av en kropp med en slät yttre yta och inre skott motsvarande de inre ränderna där de inre skotten uppvisar hög grad av soliditet. De mellanliggande inre områdena uppvisar en lägre grad av sammansmältning varvid en viss porositet kan erhållas. Eftersom produkten i detta fall med fördel inte blir helt homogen minskas risken för uppkomst av inre spänningar då en viss förmåga till förflyttning i den inre porösa strukturen medger att inre spänningar dämpas.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen sammansmälts det inre området I med ett rörelsemönster för fokalkpunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen växlar riktning och uppvisar ett tidsmedelvärde motsvarande en nollavdrift från den huvudsakliga rörelseriktningen. I figur 8 visas tre olika exempel på olika utseenden på störtermen vilka ger upphov till en rörelse i form av en trekantsvåg, en sinusformad kurva och en fyrkantsvåg. Företrädesvis sammansmälts åtminstone den rand som bildar en inre eller yttre mantelyta hos den färdiga kroppen under en rörelse vilken följer randen utan tillägg av störterm.

I figur 9 visas schematiskt hur värmefördelningen ser ut i en kropp där en strålskanons fokalkpunkt med diametern  $D$  uppvärmt kroppen. Temperaturfördelningen kring fokalkpunkten har formen av en Gaussklocka. Temperaturfördelningen kring en fokalkpunkt utan störterm visas med kurvan markerad ( $\alpha$ ) Genom störtermen breddas det spår som bearbetas under strålens propagering längs den huvudsakliga rörelseriktningen. Ett breddat spår visas med kurvan indikerad med ( $\beta$ ). Det breddade spåret har även en

temperaturfördelning med lägre maxvärde. Detta reducerar risken för uppkomst av överhettning med bildande av ojämnheter som följd.

Störtermen är företrädesvis av sådan art att en smältzon bildas, vilken  
5 uppvisar en bredd huvudsakligen motsvarande dubbla amplituden hos  
störtermens komposant i riktning vinkelrätt mot den huvudsakliga  
rörelseriktningen. Medelhastigheten av absolutbeloppet av fokalpunkts  
rörelse i störtermens riktning skall företrädesvis överstiga hastigheten för  
värmeutbredningen i materialet. Hastigheten i den huvudsakliga  
10 rörelseriktningen motsvarar företrädesvis hastigheten för värmeutbredningen  
i materialet. Amplituden och frekvensen hos störtermen skall företrädesvis  
avpassas så att fokalpunkten hinner röra sig från sitt utgångsläge där  
störtermen har värdet noll, passera min och maxvärdet för störtermen och  
återta sitt läge tills det under den tid värmeutbredningens vågfront rör sig  
15 från första nollläget till det andra nollläget. Detta visas schematiskt i figur 10. I  
figur 10 visas hur fokalpunkten rör sig längs kurvan 50 från en första position  
51, förbi ett maxima 52 hos störtermen, ett minima 53 hos störtermen för att  
därefter anta en andra position 54 med ett nollvärde på störtermen. Under  
denna tid har värmeutbredningens vågfront propagerat från den första  
20 positionen 51 fram till den andra positionen. I det fall att störtermens  
medelhastighet är för låg bildas i stället för ett brett spår ett kurvformat smält  
spår vilket löper inom den bana som definieras av störtermens ändpunkter.

Enligt en föredragen utföringsform uppvisar störtermen även en komposant i  
25 en riktning parallell med den huvudsakliga rörelseriktningen. Störtermen är i  
detta fall tvådimensionell. Exempel på störtermer med tvådimensionell  
riktning ges i figur 11.

Randen R sammansmälts företrädesvis under en huvudsakligen rätlinjig  
30 rörelse hos strålskanonens stråle.

- Syftet med att köra med ett rörelsemönster för fokalpunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen är att
- 5 man med bredare spår kan förflytta smältzonen långsammare men ändå smälta med en relativt hög hastighet jämfört med konventionell körning. En långsam förflyttning av smältzonen ger mindre förångning och mindre förekomst av att smält material kokar och stänker. Syftet med att randen sammansmälts med en kontinuerlig huvudsakligen rätlinjig rörelse är att detta
- 10 ger en slät ytstruktur för den färdiga produkten.

Nedan följer en analys av rörelsemönstret för strålskanonens stråle vid en föredragen utföringsform av uppfinningen med en tvådimensionell störterm vilket ger upphov till ett spirallikande rörelsemönster för fokalpunkten.

15

Läget för en fokalpunkt som roterar kring x-axeln och som rör sig längs samma axel med hastigheten  $V_x$  kan fås ur:

$$\vec{r}(t) = (V_x t + A_x \cos(\omega t))\vec{x} + A_y \sin(\omega t)\vec{y} \quad \text{Ekv. 1}$$

20

där  $A_x$  och  $A_y$  är amplituderna i x- respektive y-led.

En typiskt "spinnkurva" kan se ut enligt vad som visas i figur 12:

Det i figur 12 visade mönstret fås om  $\omega$  sätts till:

25

$$\omega = \frac{2\pi V_x}{A_x} \quad \text{Ekv. 2}$$

Fokalpunktens hastighet ges av:

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = (V_x - A_x \omega \sin(\omega t))\vec{x} + A_y \omega \cos(\omega t)\vec{y} \quad \text{Ekv. 3}$$

Dess absolut hastighet är således:

$$5 \quad \left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| = \sqrt{(V_x - A_x \omega \sin(\omega t))^2 + (A_y \omega \cos(\omega t))^2} \quad \text{Ekv. 4}$$

Om fokalpunkten rör sig enligt formlerna ovan så kommer dess hastighet att variera och vara som störst antingen på undersidan av x-axeln och minst på ovensidan eller tvärtom beroende på rotationsriktningen. För att få en fokalpunkt som rör sig med konstant hastighet längs spinnkurvan i Figur 12  
10 beräknas först dess medelhastighet:

$$V_{medel} = \frac{\int_0^T \left| \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \right| dt}{T} \quad \text{Ekv. 5}$$

Där :

15

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$V_{medel}$  är hastigheten som fokalpunkten ska förflytta sig med. Vid tiden  $t$  har fokalpunkten förflyttat sig sträckan:

20

$$s = t * V_{medel}$$

Denna sträcka måste vara lika med spinnkurvanslängd vid tiden  $t'$ . Alltså:

25

$$s = t * V_{medel} = \int_0^t \left| \frac{dr(t)}{dt} \right| dt$$

Ekv. 6

Genom att lösa ekv. 6 för  $0 < t < T$  fås  $t'$  som funktion av  $t$ .  $t'$  används sedan i Ekv. 1 vilket ger spottens läge som funktion av tiden  $t$ .

5

Ett flertal simuleringar med olika hastigheter och  $A_y$  har visat att smältzonen 0.1-0.15 mm under ytan har en ungefärlig bredd av  $1.8A_y$ . Hoppet mellan två spinlinjer bör då vara:

10  $Hopp_{spin} = 1.8A_y - 0.3$

Avståndet till starten från en kant blir ungefär:

$Starthopp = 0.8A_y - 0.15$

- 15 I figur 13 visas att en sammanhängande bred smält rand vilken propagerar i riktningen x markerad med en pil i diagrammet. Fokalpunkterna med en diameter D är markerade i diagrammet. Det överlappande mönstret ser till att sammansmältning sker inom ett område utanför fokalpunkterna. Ett sådant område är utritat och markerat med symbolen  $\delta$ . Sammantaget bildar dessa
- 20 områden en heltäckande area vilken propagerar i riktningen markerad med pilen x.

- 25 Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är styrdatorn vidare anordnad att beräkna en energijämnvikt för åtminstone det utvalda området som skall sammansmältas inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till det utvalda området från det utvalda områdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos det utvalda området.

Syftet med att beräkna energijämnvikten för pulverlagren är att beräkna effekten som behövs för att hålla objektets yta vid en given temperatur. Effekten antas vara konstant över hela ytan.

- 5 Nedan beskrivs hur jämnviktsberäkningen utförs i en utföringsform av uppfinningen där beräkningen utförs för ett lager i taget

För att kunna beräkna effekten i realtid krävs förenklingar:

- 10
1. Vi tänker oss att temperaturen är konstant i  $x$  och  $y$ -led och att den varierar enbart i  $z$ -led, m.a.o. hela ytan har samma temperatur.
  2. Temperaturen i  $z$ -led varierar med  $jLt$ . Där  $j$  är lagernumret och  $Lt$  är lagertjockleken.
  3. Temperaturfördelningen under smältning anses vara stationär.

15

Följande parametrar påverkar beräkningen:

Olika index:

$i$  = index för översta lagret

20  $j$  = lager index går från 1 till  $i$

Objektdata:

$Lt$  = lagertjockleken som ska smältas [m]

$Lcont(j)$  = konturlängden för lager  $j$  [m]

25  $Apowt(z) = Apow(j)$  = arean ut mot pulvret för lager  $j$ . [m]

$A(z) = A(j)$  total ytan som har smältas för lager  $j$  [m<sup>2</sup>]

Materialegenskaper:

$\lambda_{met}$  = materialets värmeledningsförmåga [W/mK]

30  $\sigma_{met}$  = strålningskonstanten för metallytan [W/m<sup>2</sup>K]

$\sigma_{metpow}$  = strålningskonstanten för metallyta täckt med pulver [W/m<sup>2</sup>K]

$\sigma_{pow}$  = strålningskonstanten för pulverytan [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$\lambda_{pow}$  = pulvrets värmeledningsförmåga [ $\text{W/mK}$ ]

$h_{pow}(z)$  = värmeöverföringstalet från objektet ut mot pulvret [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]

$\alpha$  = andelen av stråleffekten som tas upp av materialet

5

Temperaturer [K]:

$T_{sur}(i)$  = omgivningens temperatur som ytan känner när lager  $i$  smälts (Kan mätas på kepsen)

10  $T_{pow}(z)$  = temperaturen i pulvret

$T(z)$  = temperaturen i objektet

$T_{surf}(i) = T(iL_t) =$  önskad temperaturen på ytan av objektet när lager  $i$  smälts. (Sätts i AMA)

15  $T_{bott}(i)$  = temperaturen i botten på objektet innan lager  $i$  påbörjas (Mäts precis innan rakning eller beräknas. Se nedan)

För att bestämma hur temperaturen fördelar sig i objektet löser vi den endimensionella stationära värmeledningsekvationen inkluderande en källterm som tar hänsyn till värmeförluster ut i pulvret:

20

$$-\lambda_{met} \frac{\partial^2 T(z)}{\partial z^2} = \frac{h_{pow}(z) A_{pow}(z)}{A(z) L_t} (T_{pow}(z) - T(z))$$

Randvillkoren på ytan och i botten är:

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=iL_t} = \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(iL_t)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(iL_t)}$$

$$-\lambda_{met} \frac{\partial T(z)}{\partial z} \Big|_{z=0} = h_{pow} (T_{bott}(i) - T(0))$$

25

Där  $A$  och  $B$  är två konstanter.

Skriver om formlerna som differensformler i stället och låter  $j$  vara indexet för varje lager.



$$\begin{aligned}
-\lambda_{met} \frac{T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)}{Lt^2} &= \frac{h_{pow}(j)A_{pow}(j)}{A(j)Lt} (T_{pow}(j) - T(j)) \\
-\frac{\lambda_{met}}{Lt} (T(i) - T(i-1)) &= \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) - \frac{P_{in}}{A(i)} \\
-\frac{\lambda_{met}}{Lt} (T(2) - T(1)) &= h_{pow}(T_{bott}(i) - T(1))
\end{aligned}$$

där

5

$$1 \leq j \leq i-2$$

Randvillkoret på ytan ger oss egentligen inget nytt vad det gäller temperaturfördelningen i objektet eftersom ytans temperatur bestäms av  $T(i)$ .

- 10 Men det behövs för att bestämma  $P_{in}$  som är effekten som krävs för att hålla temperaturen på ytan vid  $T(i)$ .  $T(j)$  fås nu ur följande ekvationssystem:

$$\begin{aligned}
\Delta(j) &= -\frac{h_{pow}(j)A_{pow}(j)Lt}{A(j)\lambda_{met}} \\
T(j+2) - 2T(j+1) + T(j)(1 + \Delta(j)) &= \Delta(j)T_{pow}(j) \\
T(1) &= T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} + T(2) \frac{1}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})}
\end{aligned}$$

15

Sätter in yttrycket för  $T(1)$  och formulerar problemet som ett linjärt ekvationssystem:

$$\begin{aligned}
1. \quad T(3) - 2T(2) + T(2) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} &= \Delta(1)T_{pow}(1) - T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} \\
2. \quad T(4) - 2T(3) + T(2)(1 + \Delta(2)) &= \Delta(2)T_{pow}(2)
\end{aligned}$$

20

$$i-2. \quad -2T(i-1) + T(i-2)(1 + \Delta(i-2)) = \Delta(i-2)T_{pow}(i-2) - T(i)$$

På matrisform blir det:

$$5 \quad Ax = b$$

där då:

$$A_{jk} = \delta(j+1-k) - 2\delta(j-k) + \delta(j-1-k)(1 + \Delta(j)) + \delta(1-k)\delta(1-j) \frac{(1 + \Delta(1))}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{me})}$$

$$x_1 = T(2), \dots, x_{i-2} = T(i-1)$$

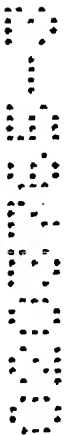
$$b_j = \Delta(j)T_{pow}(j) - \delta(j-1)T_{bott}(i) \frac{h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met}}{(1 + h_{pow}(1)Lt/\lambda_{met})} (1 + \Delta(1)) - \delta(j-i+2)T(i)$$

10

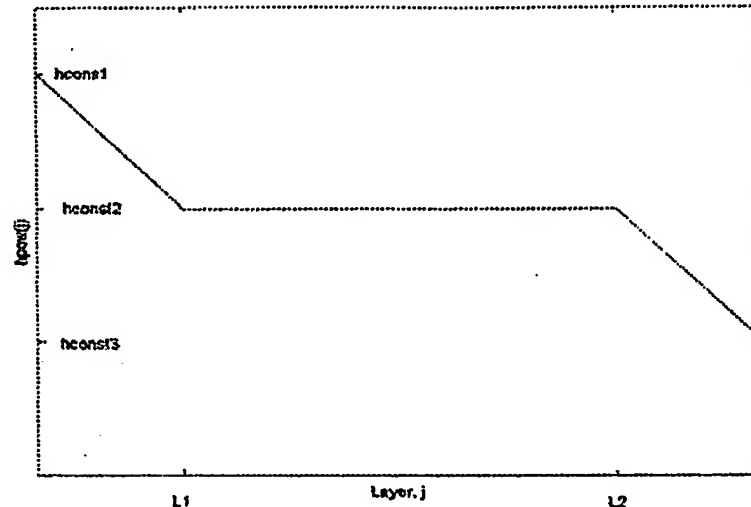
För att kunna lösa ekvationerna krävs det att pulvrets temperatur,  $T_{pow}(j)$ , och värmeöverföringstalet,  $h_{pow}(j)$ , är kända. I programmet är  $T_{pow}(z)$  satt till:

$$15 \quad T_{pow}(j) = AT(j)_{i-1} + BT_{sur}(i-1)$$

i-1 betyder att temperaturen för det föregående lagret används för att bestämma  $T_{pow}(j)$ .



Funktionen som används för  $h_{pow}(j)$  ser ut på följande sätt:



- Värden L1 och L2 har antagits vara areaoberoende medan hconst1, hconst2 och hconst3 antas bero på  $A(j)$ . Alla konstanterna i uttrycken för både  $T_{pow}$  och  $h_{pow}$  har fått fram genom att anpassa 1 D modellen ovan mot en 3D FEM beräkningar på objekt med enkla geometrier.

- I uttrycket för källtermen ingår  $A_{pow}(j)$  som egentligen är den totala arean ut mot pulvret för varje lager. Vi stora areaövergångar kan detta värde bli rätt stort vilket medför att värdet på källtermen gör ett hopp. Sådana diskreta skutt medför att lösningen blir instabil. För att förhindra detta sätts enligt en förordagen utföringsform  $A_{pow}(j)$  till  $Lcont(j) * L_t$ . Effektförluster som uppstår genom en areaövergång läggs istället till i efterhand. Storleken på effektförlusten beror på hur stor över respektive underarean är och hur långt under topplagret som areaövergången är belägen. Värden för olika areaövergångar och olika djup har fått fram genom 3D FEM simuleringar. För en godtycklig areaövergång fås effekttillägget genom interpolering.

- Innan effekten beräknas läser programmet in de olika värden för  $Lcont(j) * L_t$  och  $A(j)$  för varje lager. Med hjälp av en scriptfil kan man påverka dessa på

olika sätt. På så sätt kan man styra effekten för varje lager. Hur man påverkar de olika geometri parametrarna framgår av beskrivningen över hur scriptfilen fungerar.

5

När ekvationssystemet ovan är löst fås den totala effekten som krävs för att hålla ytan vid  $T_{surf}(i)$  ur randvillkoret för ytan:

$$10 \quad P_{in} = A(i) \left( \frac{\lambda_{met}}{L_f} (T(i) - T(i-1)) + \frac{(\sigma_{met} + \sigma_{pow})}{2} (T(i)^4 - T_{sur}(i)^4) \right)$$

När ett lager smälts används olika ström och hastighet över ytan. För att kunna beräkna de olika strömmarna som krävs sätts medelvärdet av alla effekter som används lika med  $P_{in}$ .

15 Om ett lager ska smältas med  $n_i$  olika strömmar gäller:

$$P_{in} = \alpha U \frac{\sum_{k=1}^{k=n_i} I_{ik} t_{ik}}{T_{tot}}$$

$$t_{ik} = \frac{l_{ik}}{v_{ik}}$$

$$T_{tot} = \sum_{k=1}^{k=n_i} t_{ik}$$

Där  $t_{ik}$  är smälttiden för varje ström  $I_{ik}$

$l_{ik}$  är smältlängden

20  $v_{ik}$  är smälthastigheten

$T_{tot}$  är den totala smälttiden för lagret  $i$ .

$U$  är accelerationsspänningen.

För att kunna beräkna strömmarna måste man alltså veta hastigheterna.

25 Dessa erhålls ur så kallade *speedfunctions* som anger förhållandet mellan

- ström och hastigheten. Eftersom dessa funktioner inte är analytiska måste ett iterativt förfarande användas för att bestämma alla strömmar och hastigheter. I beräkningsprogrammet gissas varje startvärde på  $I_{ik}$ . Därefter hämtas de olika hastigheterna. Värdena på strömmarna ökas sedan på tills medelvärdet av effekten precis överstiger det beräknade värdet på  $P_{in}$ .

- Antag nu att vi vill smälta de olika delareorna med en sådan hastighet och ström att energin som avges till materialet blir mindre än den som krävs för att hålla ytan vid  $T_{surf}(i)$ . Ytan måste då värmas upp. Antalet gånger som behövs för att värma upp ytan fås genom att i uttrycket för medelvärdet på effekten lägga till en uppvärmningsterm:

$$P_i^{heat} = \frac{n\alpha U_i^{heat} I_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

- och i uttrycket för tiden  $T_{tot}$  lägga till uppvärmningstiden:

$$t_i^{heat} = \frac{n l_i^{heat}}{v_i^{heat}}$$

där  $n$  anger hur många gånger som ytan måste värmas upp.

- Ovan redovisade beräkningsrutin kan nyttjas för hela pulverlagret. I en alternativ utföringsform kan beräkningen ske för olika delareor av pulverlagret.. Även i detta fall kan de ovan angivna ekvationerna nyttjas. Dock erhålles andra randvillkor för de inre ränder som ligger an mot en smält kropp.

25

I figur 14 visas en sidovy av en sammansmält kropp 30 vilken är uppbyggd genom sammansmältning av delområden 31 – 34 i konsekutiva pulverlager i – 1, i – 2, i – 3, i – 4. Givetvis kan en verklig kropp tillverkad enligt uppfinningen innefatta långt fler lager än vad som angivits i detta exempel.

På kroppen är ett översta pulverlager i utlagt. Inom detta översta pulverlager är ett urvalt område 35 beläget. Det utvalda området 35 utgörs av det område som enligt ett körschema skall sammansmältas. Det utvalda området 35 inom lagret i begränsas av en yttre rand 36. Det är givetvis tänkbart att ett

5 urvalt område innefattar såväl yttre som inre ränder. Jämnviktsberäkningen skall utföras på hela det utvalda området 35. Företrädesvis är det utvalda området 35 indelat i en mängd mindre delområden såsom visas i figur 15, varvid separata beräkningar kan utföras för delområdena.

10 I figur 15 visas ett urvalt område 35 vilket är indelat i en mängd mindre delområden 38 - 53, varvid en energijämnvikt beräknas för var och en av nämnda uppsättning avskilda delområden 38 - 53. Det utvalda området begränsas av en yttre rand 72. Givetvis kan det utvalda området även innefatta inre ränder.

15

Enligt en ytterligare föredagen utföringsform av uppfinningen innefattar nämnda uppsättning avskilda områden 38 - 53 en första grupp områden 54 - 58 vars ränder ligger helt inom utvalda område 35 samt en andra grupp områden 38 - 53 vars ränder åtminstone delvis sammanfaller med det

20 utvalda området rand 72. I förekommande fall kan områden inom nämnda andra grupp av områden indelas i underområden 38a, 39b; 48a - 48d. Företrädesvis uppvisar vart och ett av de i nämnda första grupp av områden ingående delområdena 54 - 58 samma form. I det visade exemplet är områdena kvadratiska. Rektangulära, triangelformade och hexagonala

25 områden kan med fördel användas. Randvillkoren inom denna grupp är även likartade förutom eventuella temperaturdifferenser. Genom nyttjande av formlikhet kan beräkningsrutinerna förenklas eftersom de vis gemensamma beräkningar kan utföras.

30 Energijämnvikten beräknas principiellt enligt  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$ , där  $E^{in}(i)$  utgör inmatad energi till delområdet  $E^{out}(i)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet +  $E^{heat}(i)$  utgör upplagrad i

delområdet. Den inmatade energin utgörs av dels energi  $E^{in(c)}$  vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av det delområde 35 för vilken energijämnvikten beräknas., dels av energi vilken instrålats från strålkanonen 6  $E^{in(s)}$ . I det fall att energijämnvikten beräknas innan energi tillförts delområdet 35 gäller sålunda att  $E^{in(s)} = 0$ . Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen sker åtminstone en första energijämnviktsberäkning för delområdet 35 innan energi tillförts via strålkanonen 6.

I figur 16 visas schematisk en modell på vilken beräkningen av energijämnvikten för delområdet  $\Delta_1$  baseras. I detta fall motsvaras delområdet  $\Delta_1$  av en del av det utvalda området av pulverlagret i. I detta fall får ekvationen för beräkningen av energijämnvikten utseendet  $E^{in}(\Delta_1) = E^{out}(\Delta_1) + E^{heat}(\Delta_1)$ , där  $E^{in}(\Delta_1)$  utgör inmatad energi till delområdet,  $E^{out}(\Delta_1)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet  $\Delta_1$  och  $E^{heat}(\Delta_1)$  utgör upplagrad i delområdet  $\Delta_1$ . Den inmatade energin utgörs av dels energi  $E^{in(c)}(\Delta_1)$  vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av delområdet  $\Delta_1$  för vilken, dels av energi  $E^{in(s)}\Delta_1$  vilken instrålats från strålkanonen 6.

I figur 17 visas schematisk en modell på vilken beräkningen av energijämnvikten för ett andra delområdet  $\Delta_2$  inom det utvalda området 35 i lagret i baseras. I detta fall motsvaras delområdet  $\Delta_2$  av en del av det utvalda området 35 av pulverlagret i vilken ännu inte sammansmälts och vilket angränsar till ett första delområde  $\Delta_1$  inom pulverlagret i, där utstrålning eller värmeledning sker från nämnda första till nämnda andra delområde. I detta fall får ekvationen för beräkningen av energijämnvikten utseendet  $E^{in}(\Delta_2) = E^{out}(\Delta_2) + E^{heat}(\Delta_2)$ , där  $E^{in}(\Delta_2)$  utgör inmatad energi till delområdet  $E^{out}(\Delta_2)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet  $\Delta_1 + E^{heat}(\Delta_2)$  utgör upplagrad i delområdet  $\Delta_2$ . Den inmatade energin utgörs av dels energi  $E^{in(c)}(\Delta_2)$  vilken instrålats eller inströmmat via värmeledning från omgivningen av delområdet  $\Delta_1$  för vilken, dels av energi  $E^{in(s)}\Delta_2$  vilken

instrålats från strålskanonen 6. Den via värmeledning tillförda energin  $E^{in(c)}$  ( $\Delta_2$ ) innefattar dels komponenten  $E^{in(s)}(\Delta_2, i - 1)$  vilken motsvarar tillförd energi från tidigare lager samt  $E^{out}(\Delta_1, \Delta_2)$  vilken motsvarar energi vilken avletts eller utstrålats från det första delområdet  $\Delta_1$  och tillförts det andra delområdet  $\Delta_2$ .

Enligt vad som visas i fig. 18 innefattar anordningen enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen vidare organ 14 för avkänning av ytegenskaper hos ett hos pulverbädden beläget ytlager. Detta organ 14 för avkänning av temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden 5 beläget ytlager utgörs företrädesvis av en kamera. I en föredragen utföringsform av uppfinningen nyttjas kameran dels till att uppmäta temperaturfördelningen på ytlagret, dels till att uppmäta förekomsten av ytojämnheter genom den skuggbildning som ytojämnheter ger upphov till. Information om temperaturfördelningen nyttjas dels till att åstadkomma en så jämn temperaturfördelning som möjligt över de delar av ytlagret som skall smältas, dels kan information nyttjas för att kontrollera eventuella måttavvikelser mellan genererad tredimensionell produkt och förlaga eftersom temperaturfördelningen återspeglar produktens form. I en föredragen utföringsform av uppfinningen är videokameran monterad på utsidan av det hölje 15 som innesluter pulverbädd 5 och strålskanon 6. För att möjliggöra temperaturmätning är höljet försett med ett genomsynligt fönster 16. Pulverbädden 5 är synlig för kameran genom detta fönster.

I en föredragen utföringsform av uppfinningen, vilken visas i figur 19, är fönstret 16 täckt av en skyddsfilm 17. Skyddsfilmen matas från en utmatningsenhet 18 till en uppsamlingsenhet 19 varvid filmen successivt bytas ut vilket medför att genomsynligheten kan bibehållas. Skyddsfilmen är nödvändig eftersom beläggningar uppstår till följd av smältprocessen.



En detaljerad beskrivning avseende generering och korrigering av körscheman följer nedan i anslutning till beskrivningen av ritningsfigurerna 20

- 5 I figur 20 visas schematiskt en metod för framställning av tredimensionella kroppar enligt uppfinningen. Den tredimensionella kroppen bildas genom successiv sammansmältning av utvalda områden av en pulverbädd, vilka delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen.
- 10 I ett första metodsteg 100 sker påläggning av pulverlager på ett arbetsbord. Påläggning sker genom att ovan nämnda organ 28 distribuerar ett tunt lager av pulver på arbetsbordet 2.
- I ett andra metodsteg 110 tillförs energi från en strålskanon 6 enligt ett för pulverlagret fastställt körschema till ett urvalt område inom pulverlagret varvid
- 15 sammansmältning av det enligt nämnda körschema utvalda område av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella kropp äger rum. En tredimensionell kropp bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager. De successiva tvärsnitten är indelade i ett eller flera inre
- 20 områden I, var och en uppvisande en rand R.

- Enligt en första utföringsform av uppfinningen är körschemat så utformat att strålskanonen sammansmälter det inre området I hos en uppsättning angränsande delområden i ett första processteg, varefter nämnda ränder R
- 25 sammansmälts och förbinder nämnda delområden i ett andra efterföljande processteg.

- Enligt en alternativ utföringsform av uppfinningen sammansmälts ränderna i ett första processteg för ett antal konsekutiva pulverlager varefter de inre
- 30 områdena för nämnda konsekutiva pulverlager sammansmälts i ett gemensamt andra processteg för nämnda konsekutiva pulverlager.

Enligt en andra utföringsform av uppfinningen är körschemat anordnat att fastställa turordningen för bearbetning av nämnda mängd mindre delområden med hjälp av en slumpgenerator.

- 5 I en föredragen utföringsform av uppfinningen sammansmälts det inre området under ett rörelsemönster för fokalpunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. Enligt en
- 10 föredragen utföringsform sammansmälts randen under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos strålskanonens stråle.

- I en föredragen utföringsform beräknas i ett tredje metodsteg 120 en energijämnvikt för åtminstone det utvalda området som skall sammansmältas
- 15 inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till det utvalda området från det utvalda områdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos det utvalda området. Beräkningen sker enligt de modeller som redovisats ovan.

- 20 I figur 21 visas schematiskt tillvägagångssättet för generering av primära körscheman. I ett första steg 40 genereras en 3D modell, i exempelvis ett CAD-program, av den produkt som skall tillverkas, alternativt inmatas en färdiggenererad 3D modell av den produkt som skall tillverkas till styrdatorn 8. Därefter genereras i ett andra steg 41 en matris innehållande information
- 25 om utseenden på tvärsnitt av produkten. I figur 25 visas en modell av en hammare med exempel på tillhörande tvärsnitt 31- 33. Dessa tvärsnitt visas även i fig. 26a- 26c. Tvärsnitten utlägges med en täthet motsvarande tjockleken av de skilda lagren som skall sammansmältas för att bilda den färdiga produkten. Tjockleken kan med fördel varieras mellan de olika lagren.
- 30 Det är bland annat fördelaktigt att göra lagren tunnare i områden där stor variation finns på tvärsnittens utseende mellan näraliggande lager. Vid genereringen av tvärsnitten skapas sålunda en matris innehållande

information om utseende på alla tvärsnitt, vilka tillsammans bygger upp den tredimensionella produkten.

- 5 När tvärsnitten väl är genererade genereras i ett tredje steg 42 ett primärt körschema för varje tvärsnitt. Genereringen av primära körscheman baseras dels på formigenkänning av de delar som bygger upp ett tvärsnitt, dels på kunskap om hur körschemat påverkar avsvälningstemperaturen hos lokala delar av ett tvärsnitt. Målsättningen är att skapa ett körschema som medför att avsvälningstemperaturen är så jämn som möjligt hos de delar som
- 10 sammansmälts innan nästa lager påläggs samtidigt som avsvälningstemperaturen skall hållas inom önskat intervall för att reducera risken för uppkomst av krympspänningar i produkten samt reducera storleken på uppkomna krympspänningar i produkten, med deformation av produkten som följd.
- 15 I första hand genereras ett primärt körschema utgående från formen hos skilda ingående delar av tvärsnittet. Vid genereringen identifieras varje tvärsnitts rand och inre område. I förekommande fall bildas en uppsättning inre områden vilka var och en uppvisar ränder. För de inre områdena
- 20 genereras enligt uppfinningen ett körschema vilket uppvisar ett rörelsemönster för strålskanonens fokuspunkt vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komponent i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen enligt vad som ovan angivits. Vid ränderna rör
- 25 sig strålskanonens fokuspunkt i ett huvudsakligen linjärt rörelsemönster. Detta innebär att strålskanonen följer randens form.
- 30 I en föredragen utföringsform av uppfinningen utläggs sålunda primära körscheman baserade på erfarenhet om vilka körscheman som ger en god temperaturfördelning på avsvälningstemperaturen hos tvärsnittet, varvid risken krympspänningar i produkten med deformation av produkten som följd kan reduceras. För detta ändamål finns en uppsättning körscheman för

områden av skilda former lagrade i ett minne. Körscheman enligt uppfinningen är så utformade att strålskanonens fokalpunkt inom inre områden rör sig i ett rörelsemönster vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad

5 störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen. mönster. Förutom denna information kan körscheman innefatta en lista på i vilken ordning en uppsättning inre områden skall bearbetas, information om uppvärmning av skilda områden och information om energitillförsel och svephastighet. I en föredragen

10 utföringsform uppdateras detta minne allteftersom resultat av korrigeringar av körschemat utvärderas, varvid ett självlärande system erhålles.

I en alternativ utföringsform av uppfinningen matas redan färdiga tvärsnitt, vilka genererats av en fristående dator, in till ett minne i styrdatorn, där

15 nämnda primära körscheman genereras. I detta fall erhålles information direkt till det tredje steget 42 via en extern källa 40a.

I figur 22 visas schematiskt ett förfarande för generering av en tredimensionell kropp vilken innefattar metodsteg för beräkning av

20 energijämnvikt för ett lager. I ett första metodsteg 130 sker ett fastställande av parametrar på vilka en energijämnviktsberäkning baseras. I ett andra metodsteg 140 sker en beräkning av energijämnvikten för ett åtminstone det utvalda området 35. Beräkningen sker enligt den tidigare redovisade metoden.

25 I ett tredje metodsteg 150 sker en uppdatering av körschemat i beroende av den beräknade energijämnvikten. Om energijämnvikten resulterar att tillräckligt värmeenergi finns lagrad i det utvalda området för att bibehålla önskad arbetstemperatur sker ingen extra energitillförsel. Om

30 energijämnvikten resulterar att tillräckligt värmeenergi inte finns lagrad i det utvalda området för att bibehålla önskad arbetstemperatur sker enligt en utföringsform av uppfinningen extra energitillförsel i form av förvärmning av

det utvalda området innan sammansmältning sker. Denna förvärmning kan ske genom att strålskanonen sveps mycket snabbt över området eller att strålskanonen sveper över området med lägre effekt än normalt alternativt en kombination av bådaddera. Förvärmningen äger rum i ett fjärde metodsteg 5 160.

I ett femte metodsteg 170 sker sammansmältningen genom att strålskanonen sveps över det utvalda området.

I figur 23 visas schematiskt en utföringsform av uppfinningen vilken i 10 förekommande fall utnyttjar de ovan beskrivna metoderna för generering och korrigering av körscheman. I ett första metodsteg 180 identifieras ett eller flera av inre områden I hos det utvalda området. I ett andra metodsteg 190 identifieras den eller de till nämnda inre områden tillhörande randen eller ränderna R vilka var och en omsluter nämnda inre område. I ett tredje 15 metodsteg 200 sammansmälts nämnda inre områden I under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos den av strålskanonen avgivna strålen. Under ett fjärde metodsteg 210 sammansmälts nämnda ränder under en rätlinjig rörelse hos strålen. Korrigeringen är av mindre magnitud för processer vilka nyttjar den uppfinningsmässiga metoden med ett 20 rörelsemönster uppvisande en störterm samt för processer där en energijämnviktsberäkning utförs. En korrigering kan ändock nyttjas för att ytterligare förbättra slutresultatet.

Enligt en utföringsform av uppfinningen är körschemat anordnat att 25 konsekutivt sammansmälta pulvret inom ett område i taget inom nämnda inre områden.

Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen är styrdatorn anordnad att indela ytan inom varje pulverlager i en uppsättning avskilda områden. 30 Styrdatorn är vidare anordnad att tillse att nämnda inre områden hos en uppsättning områden inom nämnda första grupp av områden sammansmälts under en delvis överlappande cirkelformad rörelse hos strålskanonens stråle.

- I en utföringsform av uppfinningen sker sammansmältningen hos de inre områdena i nämnda andra grupp av områden med en fokalpunktsrörelse innefattande en störmoment enligt vad som ovan beskrivits. I en alternativ
- 5 utföringsform av uppfinningen sker sammansmältningen inom de inre områdena i nämnda andra grupp av områden med en huvudsakligen rätlinjig rörelse.
- Enligt en föredragen utföringsform av uppfinningen nyttjas vid ovan beskrivna
- 10 utföringsformer avseende indelning av den utvalda ytan i mindre delar den ovan beskrivna beräkningen av energijämvikt för att styra körschemat med avseende på kalibrering av strålens effekt och tillförsel av energi för uppvärmning av pulverbädden innan slutlig sammansmältning sker.
- 15 I figur 23 visas schematiskt ett förfarande innefattande korrigering av körscheman med hjälp av information inhämtad från en kamera vilken uppmäter temperaturfördelningen över pulverbäddens yta. Enligt förfarandet styrs strålen från strålskanonen över pulverbädden för att generera ett tvärsnitt av en produkt. I ett första steg 50 påbörjas styrning av strålen över
- 20 pulverbädden enligt det i steg 42 definierade primära körschemat. I nästa steg 51 mäts temperaturfördelningen på pulverbäddens ytlager av kameran. Av den uppmätta temperaturfördelningen genereras därefter en temperaturfördelningsmatris,  $T_{ij\text{-uppmätt}}$ , där temperaturen på små delområden av pulverbäddens ytlager lagras. När matrisen är genererad jämförs varje
- 25 temperaturvärde  $T_{ij\text{-uppmätt}}$  i matrisen med önskat värde hos en bärvärdesmatris  $T_{ij\text{-bärvärde}}$ . Pulverbäddens ytlager kan grovt indelas i tre kategorier. För det första, områden där sammansmältning pågår genom bearbetning av strålskanonen. I dessa områden är maximala smälttemperatur  $T_{ij\text{-max}}$  av intresse. För det andra, områden som redan sammansmälts och
- 30 som därigenom svalnar. I dessa områden är en minimal tillåten avsvainingstemperatur  $T_{ij\text{-avsvainig-min}}$  av intresse eftersom alltför kall avsvainingstemperatur ger upphov till spänningar och därigenom

deformationer av ytlagret. För det tredje, områden som inte bearbetats av strålkanonen. I dessa områden är bäddtemperaturen  $T_{ij-bädd}$  av intresse. Det är även möjligt att temperaturen jämförs enbart i bearbetade områden, varvid  $T_{ij-bädd}$  inte lagras och/eller kontrolleras.

5

I ett tredje steg 52 undersöks om  $T_{ij-uppmätt}$  avviker från önskat värde  $T_{ij-börvärde}$  och om avvikelsen är större än tillåtna gränsvärden. Gränsvärden  $\Delta T_{ij-max}$ ,  $\Delta T_{ij-avsvainig}$  och

10  $\Delta T_{ij-bädd}$  tillhörande de tre olika kategorierna finns lagrade i styrdatorn 8. Det är även möjligt att bäddtemperaturen inte kontrolleras. I detta fall lagras inte det tillhörande gränsvärdet. Om avvikelsen mellan  $T_{ij-uppmätt}$  och  $T_{ij-börvärde}$  inte överstiger detta gränsvärde undersöks i ett fjärde steg 53 huruvida ytlagret är färdigbearbetat. Om så inte är fallet fortsätter körningen enligt det gällande körschemat varvid ovan nämnda metodsteg 50 – 53 genomlöpes ytterligare

15 en gång.

Om avvikelsen mellan  $T_{ij-uppmätt}$  och  $T_{ij-börvärde}$  överstiger något av nämnda gränsvärden sker en korrigering av körschemat 42 i ett femte steg. Nämnda korrigering utförs i en föredragen utföringsform enligt det schema som visas i

20 figur 24.

I en föredragen utföringsform av uppfinningen utlägges ett nytt pulverlager först efter färdigställandet av varje lager, varvid produkten uppbygges genom successiva sammansmältningar av pulverlager tills det att produkten är

25 färdig. I detta fall påbörjas, efter ett sjätte steg 55, ett nytt lager, om produkten i sin helhet inte är färdig, när det i det fjärde steget 53 konstaterats att körschemat för ett lager är avslutat.

Korrigeringen av körschemat innefattar i en föredragen utföringsform följande

30 metodsteg:

I ett första steg 56 jämförs  $T_{ij-max}$  med  $T_{ij-max-börvärde}$ . Om  $T_{ij-max}$  avviker från  $T_{ij-}$

max-börvärde överstigande  $\Delta T_{ij-max}$  kalibreras i ett steg 56a energitillförseln till pulverlagret genom att antingen ändra strålens effekt eller ändra strålens svephastighet.

I ett andra steg 58 jämförs  $T_{ij-avsvallning}$  med  $T_{ij-avsvallning-börvärde}$ . Om  $T_{ij-avsvallning}$  avviker från  $T_{ij-avsvallning-börvärde}$  överstigande  $\Delta T_{ij-avsvallning}$  ändras strålens körschema i ett steg 58a. Det finns flera sätt att ändra körschemat hos en stråle. Ett sätt att ändra körschemat är att tillåta att strålen återuppvärmer områden innan de avsvallnat för mycket. Strålskanonen kan då svepa över redan sammansmälta områden med lägre energiintensitet och/eller högre svephastighet.

I ett tredje steg 60 undersöks huruvida  $T_{ij-bädd}$  avviker från  $T_{ij-bädd-börvärde}$ . Om avvikelsen är större än  $\Delta T_{ij-bädd}$  kan i en utföringsform av uppfinningen bäddens temperatur korrigeras i ett steg 60a, exempelvis genom att strålen förmås svepa över bädden för tillförsel av energi. Det är även möjligt att till anordningen ansluta separat bädduppvärmningsutrustning.

Det är även möjligt att en storlekskontroll av det föremål som skall tillverkas görs genom den värmekamera som installerats i anordningen. Enligt vad som ovan beskrivits uppmäts bädden och de delar som sammansmälts. Den uppmätta värmefördelningen avspeglar helt och hållet objektets form i ett snitt av den tredimensionella kropp som skall skapas. En kontroll av föremålets dimensioner kan därigenom göras i ett fjärde steg 62 och återkoppling av X-Y avlänkning av strålskanonens stråle kan därigenom utföras. Denna kontroll utförs i en föredragen utföringsform av uppfinningen i ett steg 62a där avvikelsen mellan mått på tvärsnittet görs och om avvikelsen är större än tillåten, strålskanonens X-Y avlänkning korrigeras.

Dessutom kan signaler från kameran nyttjas till att identifiera förekomsten ytojämnheter, exempelvis i form av en svetsloppa. När koordinaterna för en



ytojämnhet har identifierats kan körschemat uppdateras så att strålskanonen beordras till identifierad koordinat för att smälta ned ytojämnheten.

- 5 Uppfinningen är inte begränsad till det ovan beskrivna utföringsexemplet, exempelvis kan strålskanonen utgöras av en laser, varvid avläkningsorganen utgörs av styrbara speglar och eller linser.

- 10 Uppfinningen kan vidare utnyttjas i en anordning för framställande av en tredimensionell produkt genom energiöverföring från en energikälla till ett produktråmaterial, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en dispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av produktråmaterial på arbetsbordet för bildande av en produktbädd, ett organ för avgivande av energi till valda områden av produktbäddens yta varvid en fasövergång hos
- 15 produktråmaterialet medges för bildande av ett fast tvärsnitt inom nämnda område och en styrdator vilken hanterar ett minne i vilket information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten, där styrdatorn är ämnad att styra nämnda organ för avgivande av energi så att energi tillförs till
- 20 nämnda valda områden, varvid nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv sammanbindning av successivt bildade tvärsnitt ur av dispensern successivt pålagt produktråmaterial.

- 25 I detta fall är utföringsformen inte begränsad till sammansmältning av pulver genom att en strålskanon bestrålar ytan hos en pulverbädd. Produktråmaterialet kan utgöras av varje material vilka efter en fasövergång bildar en fast kropp, exempelvis stelning efter smältning eller härdning. Det energiavgivande organet kan utgöras en elektronkanon, en laser vilka styrs överarbetsytan alternativt av ett energiavgivande organ vilket kan projicera
- 30 ett tvärsnitt direkt på produktbädden.

De ovan beskrivna utföringsform kan i övrigt utrustas med alla de särdrag som finns beskrivna i förhållande till den tidigare beskrivna utföringsformen.

## PATENTKRAV

- 1           Metod för framställning av tredimensionella kroppar genom  
successiv sammansmältning av utvalda områden av en  
5           pulverbädd, vilka delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den  
tredimensionella kroppen, vilken metod innefattar följande  
metodsteg:  
påläggning av pulverlager på ett arbetsbord,  
tillförande av energi från en strålskanon enligt ett för pulverlagret  
10           fastställt körschema till nämnda utvalda område inom  
pulverlagret, sammansmältning av det enligt nämnda körschema  
utvalda området av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av  
nämnda tredimensionella kropp, varvid en tredimensionell kropp  
bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade  
15           tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager  
k ä n n e t e c k n a d a v att nämnda utvalda område indelas i  
en mängd mindre delområden vilka var och en innefattar ett inre  
I område och en rand R.
- 20    2           Metod enligt krav 1, kännetecknad av att det inre området I hos  
en uppsättning angränsande delområden sammansmälts i ett  
första processteg, varefter till nämnda angränsande delområden  
tillhörande ränder R sammansmälts och förbinder nämnda  
delområden i ett andra efterföljande processteg.
- 25           3           Metod enligt krav 1 eller 2, kännetecknad av att körschemat är  
anordnat att fastställa turordningen för bearbetning av nämnda  
mängd mindre delområden med hjälp av en slumpgenerator.
- 30    4           Metod enligt krav 1, kännetecknad av att nämnda ränder  
sammansmälts i ett första processteg för ett antal konsekutiva  
pulverlager varefter de inre områdena för nämnda konsekutiva

pulverlager sammansmälts i ett gemensamt andra processteg för nämnda konsekutiva pulverlager.

- 5                    5                    Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att nämnda inre områden sammansmälts under ett rörelsemönster för fokalpunkten hos strålskanonens stråle, vilket innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga rörelseriktningen.
- 10                    6                    Metod enligt något av föregående krav, kännetecknad av att nämnda ränder sammansmälts under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos strålskanonens stråle.
- 15                    7                    Metod enligt något av föregående patentkrav, kännetecknad av att en energijämnvikt beräknas för åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en bestämd arbetstemperatur hos delområdet.
- 20                    8                    Metod enligt krav 7, kännetecknad av att, förutom nämnda energi för sammansmältning av delområdet, energi för uppvärmning av delområdet tillförs i det fall att beräkningen av energijämnvikt resulterar i att tillräcklig energi för bibehållande av avsedd arbetstemperatur hos delområdet inte föreligger, varvid bestämd arbetstemperatur hos delområdet uppnås.
- 25                    9                    Metod enligt krav 7 eller 8, kännetecknad av att energijämnvikten för varje pulverlager beräknas enligt  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$ , där  $E^{in}(i)$  utgör inmatad energi till delområdet  $E^{out}(i)$  utgör energiförluster genom avledning och utstrålning från delområdet
- 30

+  $E^{\text{heat}}(i)$  utgör upplagrad i delområdet.

- 10      Metod enligt något av kraven 7 – 9, kännetecknad av en energijämnvikt beräknas för var och en av nämnda delområden
- 5
- 11      Anordning för framställande av en tredimensionell produkt, vilken anordning innefattar ett arbetsbord på vilken nämnda tredimensionella produkt skall uppbyggas, en pulverdispenser vilken är anordnad att lägga ut ett tunt lager av pulver på arbetsbordet för bildande av en pulverbädd, en strålskanon för avgivande av energi till pulvret varvid sammansmältning av pulvret sker, organ för styrning av den av strålskanonen avgivna strålen över nämnda pulverbädd för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella produkt genom sammansmältning av delar av nämnda pulverbädd och en styrdator i vilken information om successiva tvärsnitt av den tredimensionella produkten finns lagrad, vilka tvärsnitt bygger upp den tredimensionella produkten, där styrdatorn är ämnad att styra nämnda organ för styrning av strålskanonen över pulverbädden enligt ett körschema bildande ett tvärsnitt hos nämnda tredimensionella kropp, varvid nämnda tredimensionella produkt bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur av pulverdysensorn,
- 15
- 20      k ä n n e t e c k n a d a v att styrdatorn är anordnad att indela nämnda utvalda område i en mängd mindre delområden vilka var och en innefattar ett inre I område och en rand R.
- 25
- 12      Anordning enligt krav 11, kännetecknad av att strålskanonen är anordnad att sammansmälta det inre området I hos en uppsättning angränsande delområden i ett första processteg, varefter nämnda ränder R sammansmälts och förbinder nämnda
- 30

delområden i ett andra efterföljande processteg.

- 13 Anordning enligt krav 11 eller 12, kännetecknad av att  
5 körschemat är anordnat att fastställa turordningen för  
bearbetning av nämnda mängd mindre delområden med hjälp  
av en slumpgenerator.
- 14 Anordning enligt krav 11, kännetecknad av att nämnda ränder  
10 sammansmälts i ett första processteg för ett antal konsekutiva  
pulverlager varefter de inre områdena för nämnda konsekutiva  
pulverlager sammansmälts i ett gemensamt andra processteg för  
nämnda konsekutiva pulverlager.
- 15 Anordning enligt något av kraven 11 – 14, kännetecknad av att  
15 körschemat är anordnat att styra fokalpunkten hos strålskanonens  
stråle inom nämnda inre områden med ett rörelsemönster, vilket  
innefattar en huvudsaklig rörelseriktning och en till nämnda  
huvudsakliga rörelseriktning adderad störterm vilken uppvisar en  
komposant i vinkelrät riktning mot den huvudsakliga  
20 rörelseriktningen.
- 16 Anordning enligt något av kraven 11 – 15, kännetecknad av att  
strålskanonen är anordnad att sammansmälta nämnda ränder  
sammansmälts under en huvudsakligen rätlinjig rörelse hos  
25 strålskanonens stråle enligt ett av styrdatorn fastställt körschema.
- 17 Anordning enligt något av kraven 11 – 16, kännetecknad av att  
30 styrdatorn vidare är anordnad att beräkna en energijämnvikt för  
åtminstone ett delområde inom varje pulverlager, varvid vid  
beräkningen fastställs huruvida instrålad energi till delområdet  
från delområdets omgivning är tillräckligt för att bibehålla en  
bestämd arbetstemperatur hos delområdet.

- 18      Anordning enligt krav 17, kännetecknad av att styrdatorn är  
anordnad att styra nämnda körschema för tillförsel av, förutom  
5      nämnda energi för sammansmältning av pulverlager, energi för  
uppvärmning av pulverlagret i det fall att beräkningen av  
energijämnvikt resulterar i att körschemat ej ger tillräcklig energi  
för bibehållande av avsedd arbetstemperatur hos delområdet,  
varvid bestämd arbetstemperatur hos delområdet bibehålles.
- 10    19      Anordning enligt krav 17 eller 18, kännetecknad av att styrdatorn  
är anordnad att beräkna energijämnvikten för varje pulverlager  
enligt  $E^{in}(i) = E^{out}(i) + E^{heat}(i)$ , där  $E^{in}(i)$  utgör inmatad energi till  
delområdet  $E^{out}(i)$  utgör energiförluster genom avledning och  
15      utstrålning från delområdet +  $E^{heat}(i)$  utgör upplagrad energi i  
delområdet.
- 20      Anordning enligt något av kraven 11 - 19, kännetecknad av att  
styrdatorn är anordnad att beräkna en energijämnvikt för var och  
20      en av nämnda delområden.
- 21      Anordning enligt något av kraven 11 - 19, kännetecknad av att  
anordningen vidare innefattar organ för avkänning av  
temperaturfördelningen hos ett hos pulverbädden beläget  
ytlager.

## SAMMANDRAG

- Anordning och metod för framställning av tredimensionella kroppar genom successiv sammansmältning av utvalda områden av en pulverbädd, vilka
- 5 delar motsvarar successiva tvärsnitt hos den tredimensionella kroppen, vilken metod innefattar följande metodsteg: påläggning av pulverlager på ett arbetsbord, tillförande av energi från en strålskanon enligt ett för pulverlagret fastställt körschema till nämnda utvalda område inom pulverlagret, sammansmältning
- 10 av det enligt nämnda körschema utvalda området av pulverlagret för bildandet av ett tvärsnitt av nämnda tredimensionella kropp, varvid en tredimensionell kropp bildas genom successiv sammansmältning av successivt bildade tvärsnitt ur successivt pålagda pulverlager.

15 Fig. 1

10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1



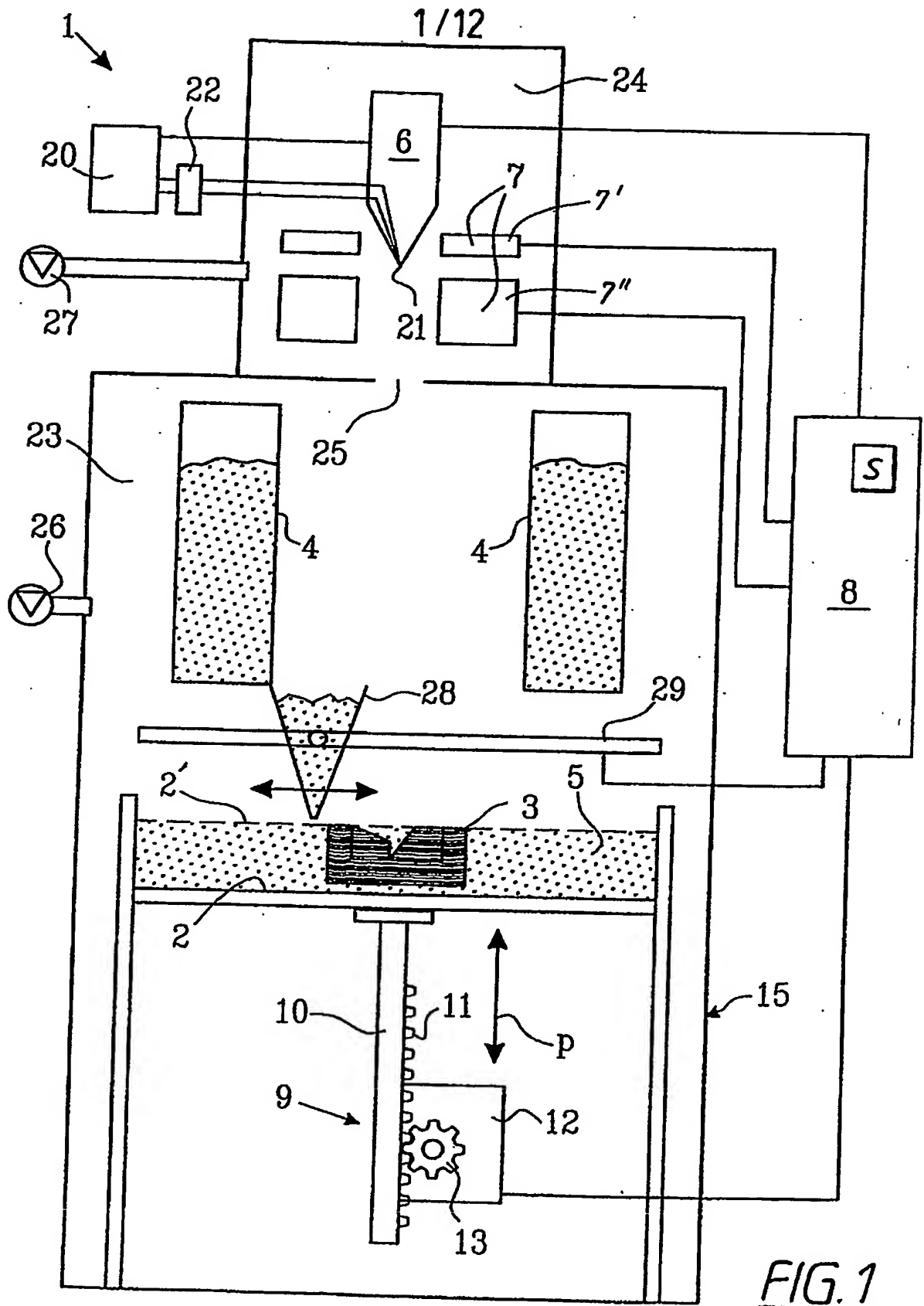


FIG. 1

2/12

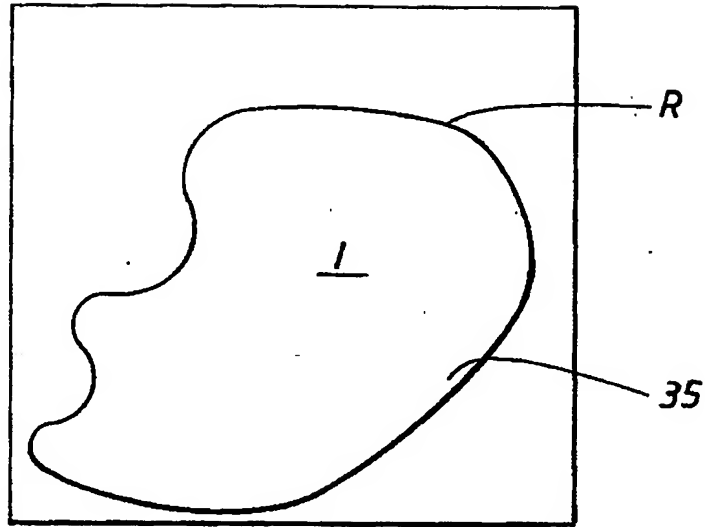


FIG. 2

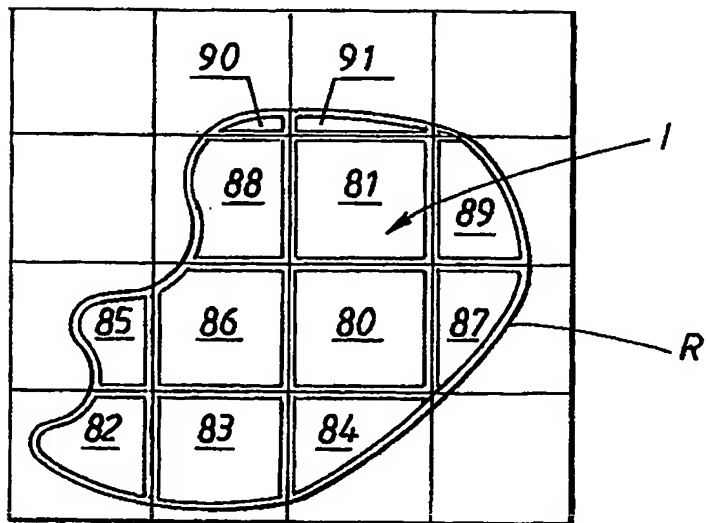


FIG. 3

3/12

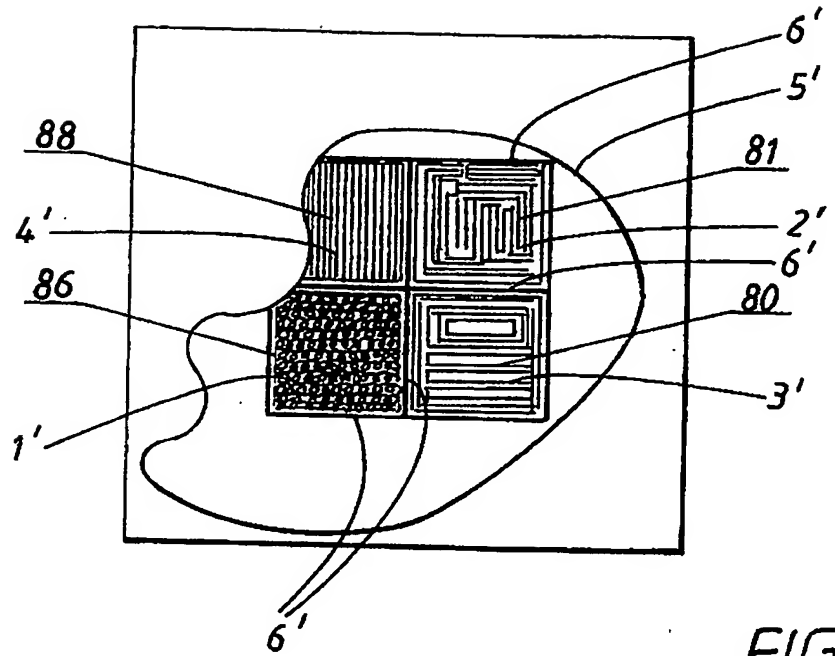


FIG. 4

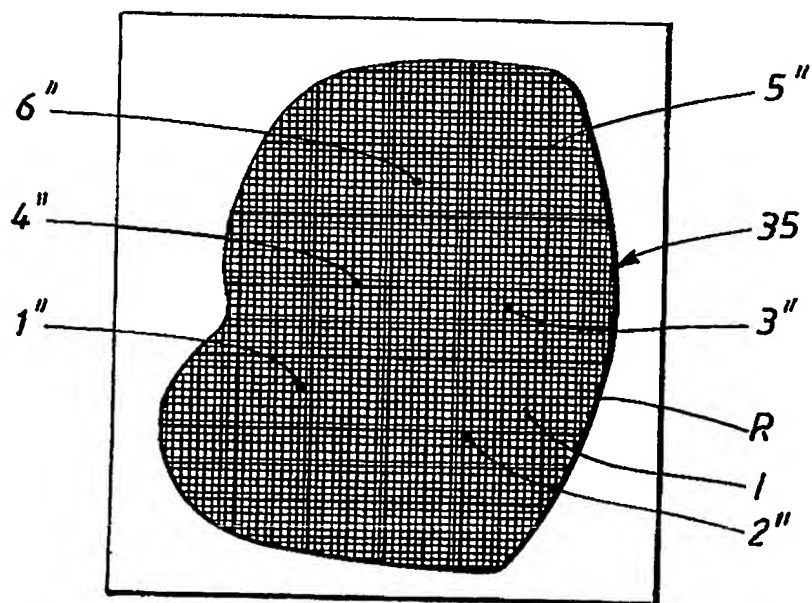


FIG. 5

4/12

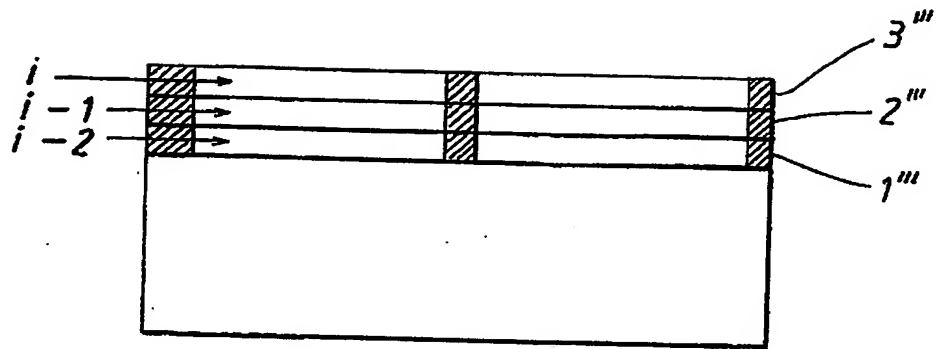


FIG. 6

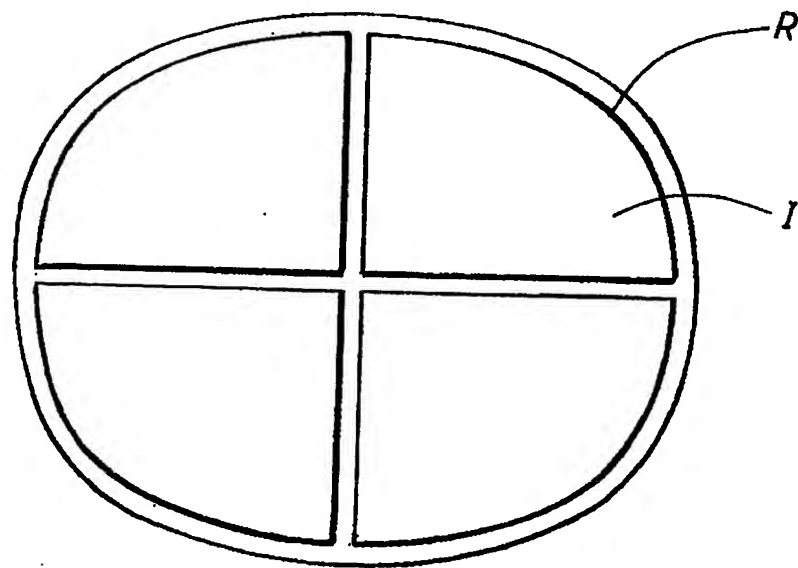


FIG. 7



6/12

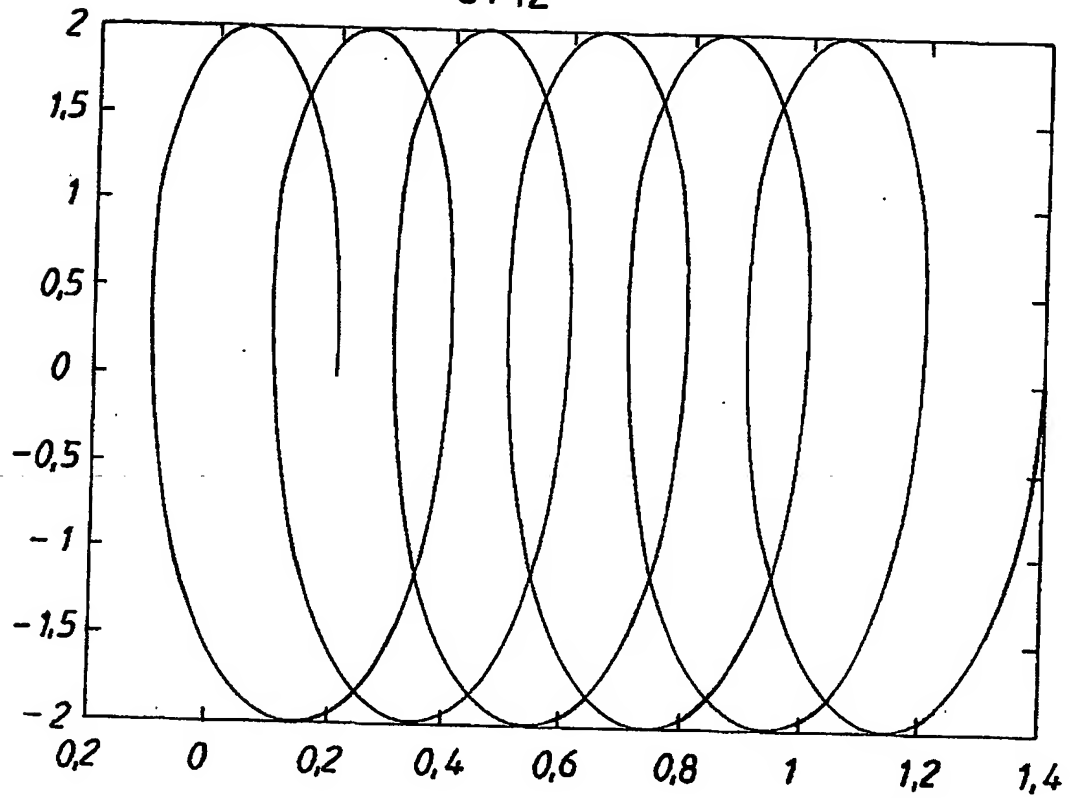


FIG. 12

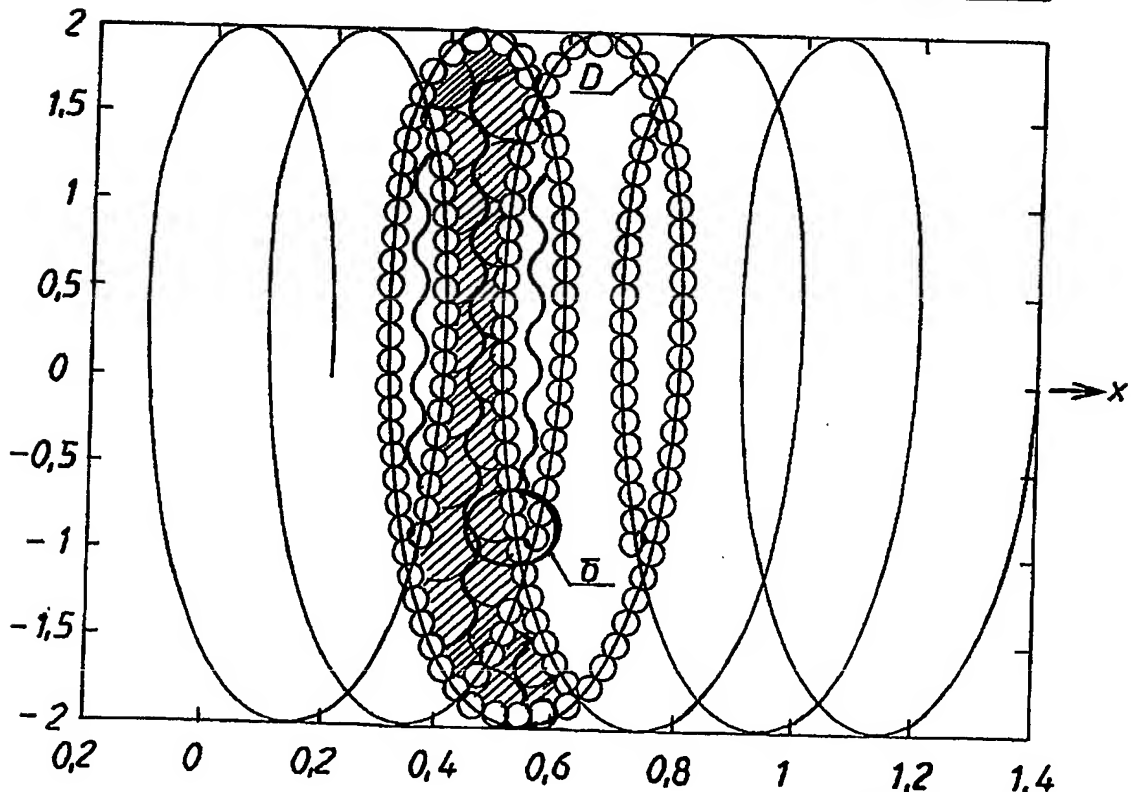


FIG. 13

7/12

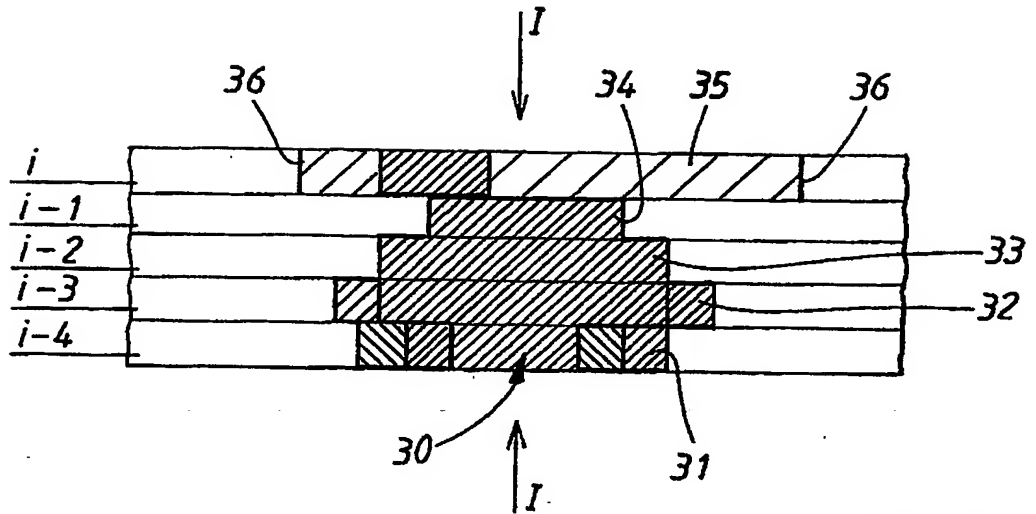


FIG. 14

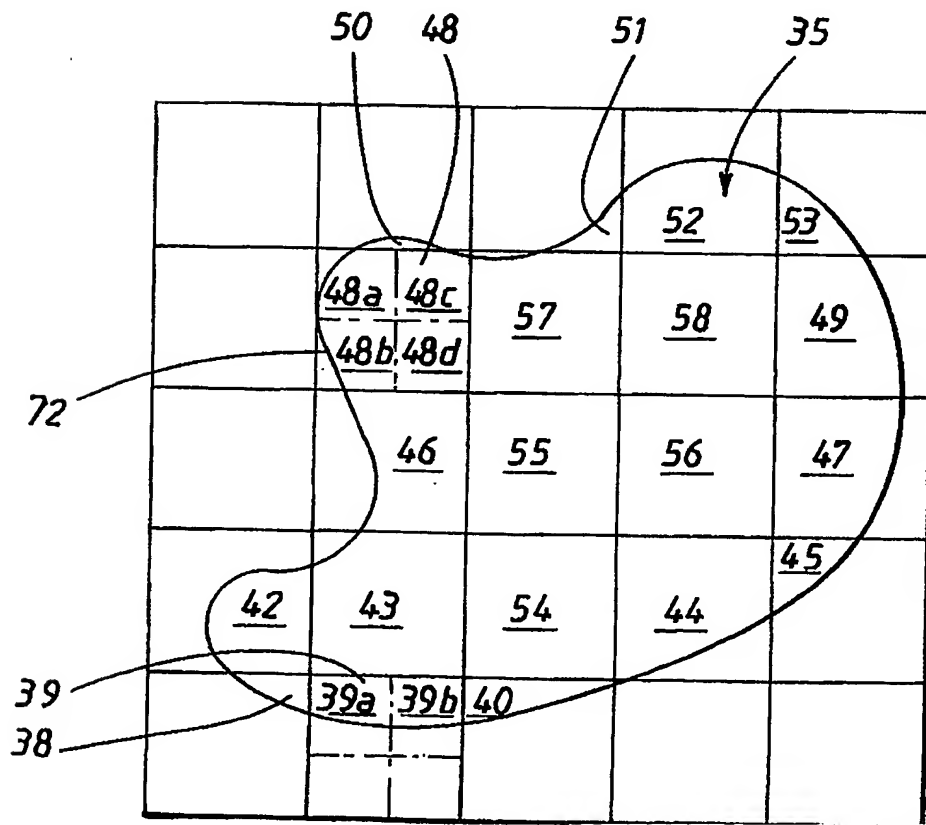


FIG. 15





9/12

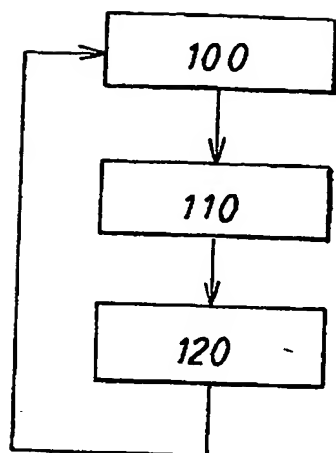


FIG. 20

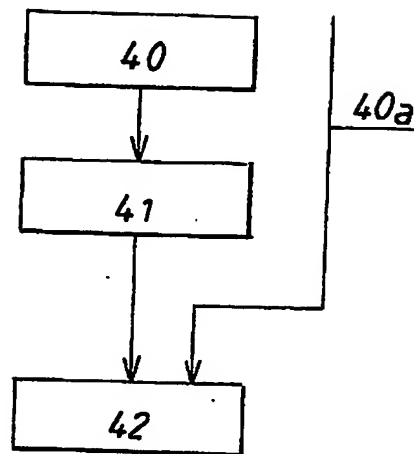


FIG. 21

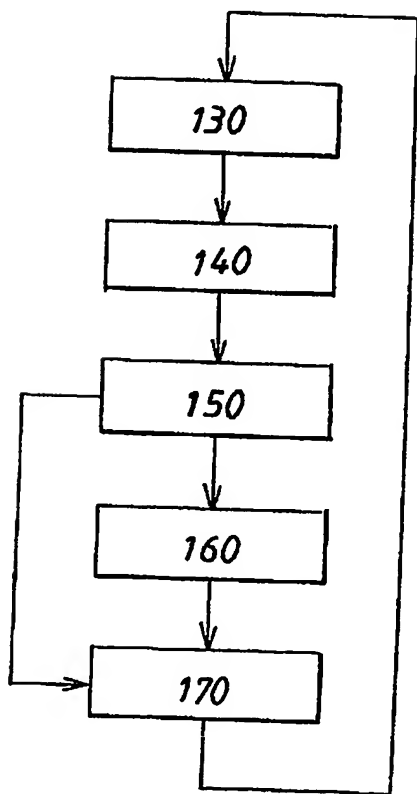


FIG. 22

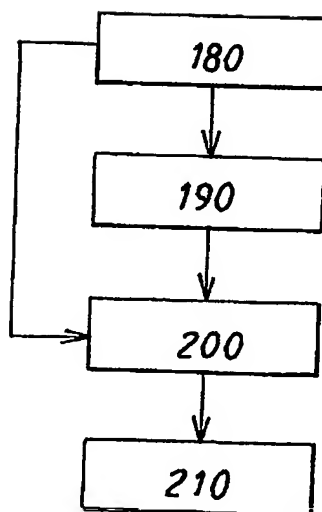


FIG. 23

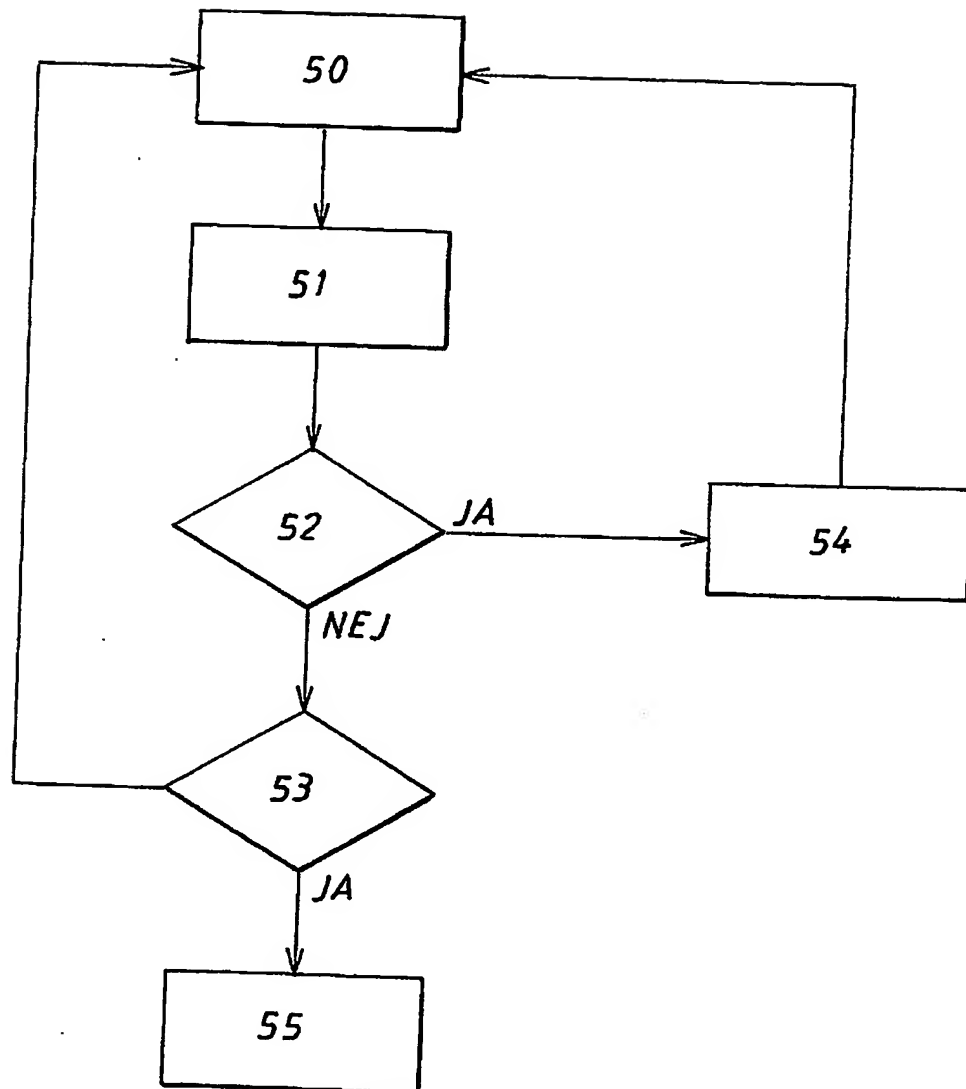


FIG. 24

11/12

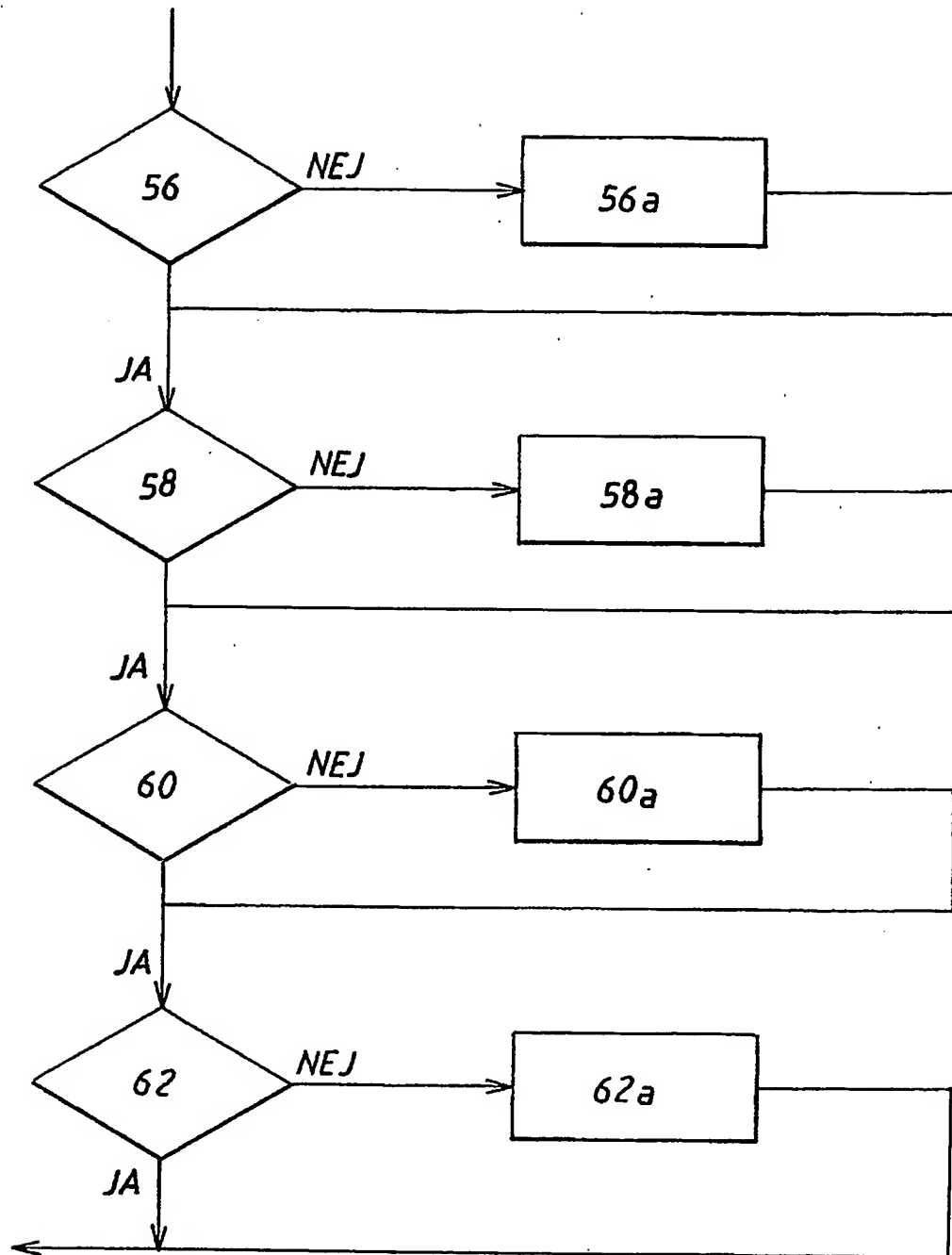


FIG. 25

12/12

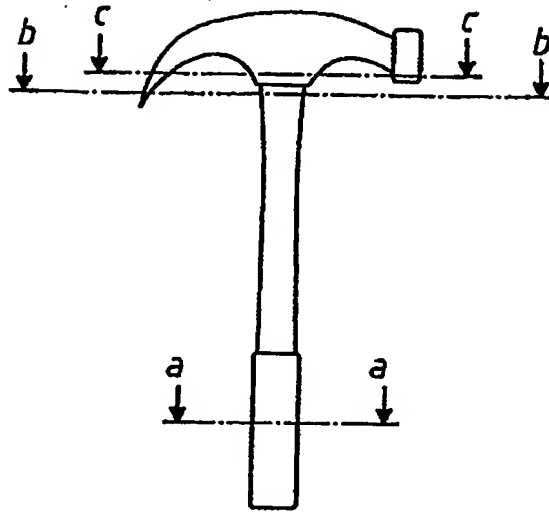


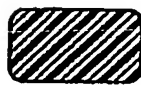
FIG. 26



a-a



b-b



c-c



FIG. 27